



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*)

Frank Jimmy García Navarrete

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia
Febrero de 2014

Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*)

Frank Jimmy García Navarrete

Tesis grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Agrícola

Directora:
Dr.agr., Sandra Patricia Cuervo Andrade

Codirectora:
Dr.rer hort, Claudia Patricia Pérez Rodríguez

Línea de Investigación:
Poscosecha de productos agrícolas
Grupo de Investigación:
Grupo de investigación en biomasa y optimización de sistemas térmicos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ingeniería, Departamento de ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia
Febrero de 2014

Dedicatoria

Con todo mi cariño y amor para quienes me dieron la oportunidad de vivir, han luchado juntos porque logre mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando más lo he necesitado, mis queridos padres, Emigdio y Luz Marina, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A tu paciencia y comprensión; todo con lleva a un enorme sacrificio, haz sido testigo y empuje diario, para que pueda ofrecerles a ti y a mi hermoso hijo un mejor futuro, a ese gran orgullo de mi vida, que lo tengo presente en cada labor de mi vida, por los dos lucho y deseo la superación, Luz Mery y Juan Esteban, los amo.

A esas grandes personas, que con su ejemplo me han sabido guiar y juntos hemos superado los grandes obstáculos de la vida, a esos grandes hermanos que la vida me ha sabido dar, que han contribuido al arduo trabajo no sólo de este proyecto sino de mi propia vida, gracias por ese gran apoyo Oscar y Tatiana.

Y en general a todas aquellas personas que me han regalado grandes lecciones y experiencias que me han ayudado a formarme y a prepararme para los grandes retos de la vida diaria, gracias queridos maestros y amigos.

Agradecimientos

A Dios Todopoderoso, porque ha sido su voluntad, el recorrido de este largo pero fructífero camino.

A mi alma mater: Universidad Nacional de Colombia, que no en vano ha sido y seguirá siendo la mejor universidad, formadora no sólo de grandes académicos sino también de grandes seres humanos y con ella a la Facultad de Ingeniería y su Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, quienes han hecho un acompañamiento cercano desde mi pregrado y han sido un apoyo enorme, al Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, por el manejo y calidad humano en el préstamo de herramientas y laboratorios para el buen desarrollo del proyecto; así como también a la Facultad de Agronomía y al Departamento de Química, por estar interesados en la culminación exitosa del mismo, facilitando elementos científicos y materiales.

A la más alta calidad humana y profesional entre otras; la Ingeniera Sonia Lucia, Directora del Grupo de investigación BIOT, quien me apoyó con sus enseñanzas y me brindó su confianza dándome la oportunidad de realizar este proyecto; a La Ingeniera Sandra Patricia Cuervo, mi Directora de Tesis, siendo una guía indispensable en los conceptos científicos; a la Ingeniera Claudia Patricia Rodríguez, Codirectora de Tesis, por sus aportes y puesta en el proyecto.

A los Miembros del grupo de investigación BIOT; al Profesor Jairo Leonardo Cuervo, quien con su colaboración en el préstamo del laboratorio de Biología de suelos se pudo realizar parte de los ensayos y experimentos; a la Profesora Diana Cristina Sinuco, en su valiosa colaboración en la realización de las pruebas de Cromatografía y sus respectivos análisis; al Ingiero Alfonso Parra, por su gran ayuda en el aporte de conocimientos técnicos, al Ingeniero Carlos Alfonso Tibaduiza (Carlitos Way), en sus apreciaciones, comentarios y en la estructuración de la Tesis; al Ingeniero Juan José Cujar, por su apoyo incondicional vivencial, al Ingeniero Pedro Felipe Ortiz y al Ingeniero Juan David Mejía, por su acompañamiento, intercambio de conceptos y desarrollo de prácticas.

A mis compañeros y amigos que tuvieron que ver de alguna u otra manera en el desarrollo de esta tesis, apoyándome con consejos, ayudas, facilidad en la obtención de herramientas de software y material académico, mi Compadre Alejandro Galindo y Álvaro Beltrán.

Y a mis familiares cercanos que de algún modo también apoyaron y facilitaron el avance en gran parte del proyecto, A mi madre Luz Marina y a la señora Margarita Penagos, gracias a su dedicación al cuidado de mi pequeño hijo.

Resumen

El proceso de secado tiene como principal objetivo eliminar el exceso de agua presente en los alimentos que alteran su estabilidad, sin embargo este proceso causa efectos significativos en la calidad en especial en las plantas aromáticas y medicinales; en general el secado produce cambios en el color, la microbiología y en el contenido de aceites esenciales. Por esta razón es necesario conocer el comportamiento de las mismas cuando son expuestas al proceso de secado con el fin de obtener unas características de calidad requeridas para el consumo. La presente investigación se enfocó principalmente en determinar en laboratorio las isotermas de sorción para las temperaturas de 20, 50 y 60°C en la *Stevia rebaudiana* y a 20, 40 y 50°C en la *Mentha spicata*; también se evaluó el efecto de cuatro temperaturas de secado 40, 50, 60 y 70°C para la *Stevia rebaudiana* y 30, 40, 50 y 60°C para la *Mentha spicata* sobre la influencia en la calidad, medida en las variables de respuesta como la variación del color, la microbiología y el contenido de aceites esenciales. Las isotermas de sorción se determinaron experimentalmente según el método recomendado por el proyecto europeo COST 90; se realizó el ajuste a modelos matemáticos encontrando que el modelo de Oswin presenta el mejor ajuste a los datos experimentales obtenidos en la *Stevia rebaudiana* y el modelo de Peleg en la *Mentha spicata*. Las curvas de secado se construyeron determinando la pérdida de peso de cada producto a través del tiempo hasta llegar a un contenido de humedad del 10%; se efectuó el ajuste a modelos matemáticos encontrando que el modelo logarítmico presentó el mejor ajuste a la mayoría de los datos experimentales en la *Stevia rebaudiana* y la *Mentha spicata*. Para determinar las diferencias de color se siguió lo expuesto según la norma ASTM D2244-02; se encontró que el mejor tratamiento que conserva el color para las dos hierbas aromáticas está entre las temperaturas de 40 y 50°C. En el análisis microbiológico de las plantas aromáticas, se siguió la metodología propuesta por el INVIMA y la NTC 2698; se obtuvo que las temperaturas más altas de secado inhibieron el crecimiento de mohos y levaduras, se encontró que la temperatura de 70°C reduce en un 83 % la carga microbiana en la *Stevia rebaudiana* y la de 60°C para la *Mentha spicata* presentó una reducción del 96 %. Para determinar el contenido de aceites esenciales en la *Mentha spicata* se siguió la metodología recomendada en la norma NTC 2686, se encontró que la temperatura de 40°C presenta la menor pérdida en el contenido de aceites esenciales para la *Mentha spicata*; para la *Stevia rebaudiana* no se obtuvo ningún resultado en la extracción de los compuestos volátiles por el método mencionado anteriormente. Se realizó un análisis de varianza unifactorial y el test de Tukey en los parámetros de calidad y se concluyó que la temperatura óptima de secado para la *Stevia rebaudiana* es de 60°C para la *Mentha spicata* esta por encima de 40 y por debajo 50°C.

Palabras clave: Secado, Isotermas de sorción, Aceites esenciales, microbiología, Actividad de agua, Color.

Abstract

Drying process has as its main goal to eliminate water excess that alters food stability; However, this process causes significant effects regarding quality of the products, specially when it comes to medicinal and aromatic plants. Overall, drying process produces changes in terms of color, microbiology and essential oils content. That is why it is necessary to be aware of the result you might get when they are exposed to the drying process in order to obtain quality features that are required for consume. This research was mainly focused on determined the Sorption Isotherms inside the laboratory for temperatures among 20, 50 and 60 °C for the *Stevia rebaudiana* and in 20, 30 and 50 °C for the *Mentha spicata*, moreover the effect of four drying temperatures 40, 50, 60 and 70 °C was evaluated for the *Stevia rebaudiana* and 30, 40, 50 y 60 °C for the *Mentha spicata* and the influence in its quality that was measured through response variables such as color variation, microbiology and essential oil variation. The Sorption Isotherms were experimentally determined according to the recommended european project COST 90. Mathematical model adjustments have been made finding out that Oswin's model presents a better adjustment to results obtained from *Stevia rebaudiana* and Peg's model for *Mentha spicata*. Drying curves were built that determined each product loss of weight until reaching a humidity content of 10 %; adjustment of mathematical models was made finding out that the most suitable for most of the experimental data for both the *Stevia rebaudiana* and *Mentha spicata* is the logarithmic model. Color differences were determined by following what it was exhibit in the norm ASTM D2244-02. It was found that the best treatment to preserve the color in both herbs is in temperatures within 40 y 50 °C. in the microbiological analysis of aromatic herbs the suggested methodology proposed by INVIMA and the NTC 2698 was followed. It was detected that higher drying temperatures inhibited the growth of molds and yeasts. it was found that the temperature of 70 ° C in 83 % reduces the microbial load in the *Stevia rebaudiana* and 60 ° C for *Mentha spicata* with a reduction of 96 %. To determine content of essential oils in *Mentha spicata* recommended in NTC 2686 methodology was followed, it was found that the temperature of 40 C has the lowest loss in essential oils content for *Mentha spicata*; for *Stevia rebaudiana* no results were obtained in volatile compound extraction by the method mentioned previously. Analysis of unifactoral variance and Tukey's test on the quality parameters were conducted and it was concluded that the optimum drying temperature for the *Stevia rebaudiana* is 60 ° C and for *Mentha spicata* is above 40 and below 50 ° C.

Keywords: Drying, Sorption isotherms, Essential Oils, microbiology, Water Activity, Color

Contenido

Resumen	IX
Lista de tablas	XVII
Lista de figuras	XIX
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. Estado del arte	5
4. Marco teórico	9
4.1. Características Generales	9
4.1.1. Características de la Stevia (<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni)	9
4.1.2. Características de la Hierbabuana (<i>Mentha spicata</i>)	10
4.2. Isotermas de sorción y actividad de agua	11
4.3. Cinética del secado	15
4.4. Principios activos - Aceites esenciales	17
4.5. Variación en el color	19
4.6. Calidad microbiológica	22
4.7. Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas (GS-MS)	25
5. Isotermas de sorción y ajustes a modelos matemáticos	27
5.1. Materiales y métodos	27
5.2. Resultados	29
5.2.1. Datos experimentales para la <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	30
5.2.2. Ajustes a modelos matemáticos para la <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni . .	31
5.2.3. Datos experimentales para la <i>Mentha spicata</i>	33
5.2.4. Ajustes a modelos matemáticos para la <i>Mentha spicata</i>	35

6. Cinética del secado y ajustes a modelos matemáticos	37
6.1. Materiales y métodos	37
6.2. Resultados	38
6.2.1. Datos experimentales para la <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	38
6.2.2. Ajustes a modelos matemáticos para la <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	40
6.2.3. Datos experimentales para la <i>Mentha spicata</i>	42
6.2.4. Ajustes a modelos matemáticos para la <i>Mentha spicata</i>	45
7. Parámetros de calidad	47
7.1. Variación en el color	47
7.1.1. Materiales y métodos	47
7.1.2. Resultados	48
7.2. Calidad microbiológica	52
7.2.1. Materiales y metodos	52
7.2.2. Resultados	53
7.3. Actividad de agua	56
7.3.1. Materiales y métodos	56
7.3.2. Resultados	56
7.4. Contenido de aceites esenciales	59
7.4.1. Materiales y métodos	59
7.4.2. Resultados	60
7.5. Cromatografía de gases - espectrometría de masas (GS-MS)	62
7.5.1. Materiales y métodos	62
7.5.2. Resultados	63
8. Análisis de resultados	67
9. Conclusiones y Recomendaciones	75
9.1. Conclusiones	75
9.2. Recomendaciones	76
Bibliografía	77
A. Anexo A: Prueba de ajuste de bondad y coeficiente de correlación para las isotermas de sorción y las curvas de secado.	85
A.1. Resultados estadísticos de las isotermas de sorción para la <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	86
A.2. Resultados estadísticos de las isotermas de sorción para la <i>Mentha spicata</i>	87
A.3. Resultados estadísticos de las curvas de secado para la <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	87
A.4. Resultados estadísticos de las curvas de secado para la <i>Mentha spicata</i>	88

B. Anexo B: Análisis de varianza ANOVA en los parámetros de calidad	89
B.1. Resultados de la ANOVA para la <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	91
B.1.1. Resultados estadísticos para la <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	91
B.1.2. Resultados de la ANOVA para la variación de color	91
B.1.3. Resultados de la ANOVA para la microbiología	92
B.1.4. Resultados de la ANOVA para la actividad de agua	92
B.1.5. Resultados del test de Tukey	92
B.2. Resultados de la ANOVA para la <i>Mentha spicata</i>	93
B.2.1. Resultados estadísticos para la <i>Mentha spicata</i>	93
B.2.2. Resultados de la ANOVA para la variación de color	93
B.2.3. Resultados de la ANOVA para la microbiología	94
B.2.4. Resultados de la ANOVA para la actividad de agua	94
B.2.5. Resultados de la ANOVA para aceites esenciales	95
B.2.6. Resultados del test de Tukey	95
C. Anexo C: Cromatografía de gases - espectrometría de masas (GS-MS)	97
C.1. Cromatograma del aceite esencial de la <i>Mentha spicata</i> fresca para secar a 40°C	97
C.2. Cromatograma del aceite esencial de la <i>Mentha spicata</i> seca a 40°C	99
C.3. Cromatograma del aceite esencial de la <i>Mentha spicata</i> fresca para secar a 50°C	101
C.4. Cromatograma del aceite esencial de la <i>Mentha spicata</i> seca a 50°C	103

Lista de Tablas

4-1. Modelos matemáticos teóricos, semiempíricos y empíricos aplicados a las isoterms de sorción	12
4-2. Modelos matemáticos aplicados al secado	16
4-3. Características macroscópicas de hongos filamentosos y levaduriformes. . . .	23
4-4. Requisitos microbiológicos para las plantas aromáticas en bolsas filtrantes . .	24
5-1. Concentración y pureza de las soluciones salinas saturadas acuosas [63]. . . .	28
5-2. Humedad relativa medida de las soluciones salinas saturadas acuosas a cuatro temperaturas, para cuantificar la humedad en equilibrio.	29
5-3. Datos promedio experimentales del contenido de humedad en equilibrio para la <i>Stevia Rebaudiana</i>	30
5-4. Valores de los parámetros estimados de los modelos de sorción para la <i>Stevia rebaudiana</i>	32
5-5. Modelo Oswin de las isoterms para la <i>Stevia rebaudiana</i>	32
5-6. Datos promedio experimentales del contenido de humedad en equilibrio para la <i>Mentha spicata</i>	34
5-7. Valores de las constantes de los modelos de desorción y los valores del coeficiente de correlación R2 y prueba chi2, para <i>Mentha spicata</i>	35
5-8. Modelo Pele de las isoterms para la <i>Mentha spicata</i>	36
6-1. Contenidos de humedad y tiempos de secado para la <i>Stevia rebaudia</i>	39
6-2. Parámetros estimados de los modelos matemáticos aplicados a las curvas de secado para <i>Stevia rebaudiana</i>	41
6-3. Modelo Logarítmico de las curvas de secado para la <i>Stevia rebaudiana</i>	41
6-4. Contenidos de humedad y tiempos de secado para la <i>Mentha spicata</i>	43
6-5. Parámetros estimados de los modelos matemáticos aplicados a las curvas de secado para <i>Mentha spicata</i>	45
6-6. Modelo Logarítmico de las curvas de secado para la <i>Mentha spicata</i>	46
7-1. Resultados promedio en la escala de color CIELAB para la <i>Stevia rebaudiana</i> a diferentes temperaturas.	48
7-2. Diferencia de color para la <i>Stevia rebaudiana</i>	48

7-3. Resultados promedio en la escala de color CIELAB para la <i>Mentha spicata</i> a diferentes temperaturas.	50
7-4. Diferencia de color para la <i>Mentha spicata</i>	51
7-5. Conteo UFC para la <i>Stevia rebaudiana</i>	54
7-6. Conteo UFC para la <i>Mentha spicata</i>	55
7-7. Actividad de agua para la <i>Stevia rebaudiana</i> seca a diferentes temperaturas .	57
7-8. Actividad de agua para la <i>Mentha spicata</i>	58
7-9. Contenido de aceite esencial de <i>Mentha spicata</i> ($\frac{ml}{100grbs}$)	61
7-10. Índices de retención de un hidrocarburo C9 - C17	63
7-11. Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Mentha spicata</i> en fresco y Seco a 40 °C	64
7-12. Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Mentha spicata</i> en Fresco y Seco a 50 °C	65
8-1. Estimación de la temperatura optima para el proceso de secado en la <i>Stevia rebaudiana</i>	72
8-2. Estimación de la temperatura optima para el proceso de secado en la <i>Mentha spicata</i>	73
A-1. Valores del coeficiente de correlación R^2 y la prueba χ^2 , para <i>Stevia rebaudiana</i> . 86	
A-2. Valores del coeficiente de correlación R^2 y la prueba χ^2 , para <i>Mentha spicata</i> . 87	
A-3. Valores estadísticos de los modelos matemáticos aplicados a las curvas de secado para <i>Stevia rebaudiana</i>	87
A-4. Valores estadísticos de los modelos matemáticos aplicados a las curvas de secado para <i>Mentha spicata</i>	88
B-1. Anova	89
B-2. Valores promedio y error estándar para los parámetros de calidad	91
B-3. Análisis de anova del color para la <i>Stevia rebaudiana</i>	91
B-4. Análisis de anova de la microbiología para la <i>Stevia rebaudiana</i>	92
B-5. Análisis de anova de la actividad de agua para la <i>Stevia rebaudiana</i>	92
B-6. Valores del test de Tukey.	93
B-7. Valores promedio y error estándar para los parámetros de calidad	93
B-8. Análisis de anova del color para la <i>Mentha spicata</i>	94
B-9. Análisis de anova de la microbiología para la <i>Mentha spicata</i>	94
B-10. Análisis de anova de la actividad de agua para la <i>Mentha spicata</i>	94
B-11. Análisis de anova de los aceites esenciales para la <i>Mentha spicata</i>	95
B-12. Valores del test de Tukey.	95
C-1. Identificación de los componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Mentha spicata</i> en fresco para secar a 40 °C	98

C-2. Identificación de los componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Ment-</i> <i>ha</i> en Seco a 40 °C	100
C-3. Identificación de los componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Ment-</i> <i>ha spicata</i> en fresco para secar a 50 °C	102
C-4. Identificación de los componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Ment-</i> <i>ha spicata</i> en Seco a 50 °C	104

Lista de Figuras

4-1. Clasificación de las Isotermas de Sorción [70].	14
4-2. Representación en el plano horizontal del espacio de color $L^* a^* b^*$	20
4-3. Representación tridimensional del espacio de color $L^* a^* b^*$	20
4-4. Diferencia del color en el espacio $L^* a^* b^*$	21
4-5. Diagrama de cromaticidad	22
4-6. Cromatograma para aceite esencial de la <i>Mentha spicata</i>	26
5-1. Frasco porta muestra para determinación de la isotermas de sorción	28
5-2. Isoterma experimental <i>Stevia rebaudiana</i>	31
5-3. Isoterma usando el modelo de Oswin a 20, 50 y 60 C° para <i>Stevia Rebaudiana</i>	33
5-4. Isoterma experimental <i>Mentha spicata</i>	34
5-5. Isoterma teórica a 20, 40 y 50 C° para <i>Mentha spicata</i>	36
6-1. Horno de convección forzada modelo FD 240	38
6-2. Curva experimental de secado para la <i>Stevia rebaudiana</i>	39
6-3. Curva experimental de secado para la <i>Stevia rebaudiana</i>	40
6-4. Modelos Logarítmico para el secado de la <i>Stevia rebaudiana</i>	42
6-5. Curva experimental de secado para la <i>Mentha spicata</i>	43
6-6. Curva experimental de secado para la <i>Mentha spicata</i>	44
6-7. Modelo Logarítmico para el secado de la <i>Mentha spicata</i>	46
7-1. Calorímetro Konica Minolta CR400.	47
7-2. Variación de color para <i>Stevia rebaudiana</i> seca a diferentes temperaturas	49
7-3. Variación de color de la <i>Stevia rebaudiana</i> según el tratamiento.	50
7-4. Variación de color para <i>Mentha spicata</i> seca a diferentes temperaturas	51
7-5. Variación de color de la <i>Mentha spicata</i> según el tratamiento.	52
7-6. Disminución de la carga microbiana para la <i>Stevia rebaudiana</i> seca a diferentes temperaturas	54
7-7. Disminución de la carga microbiana para la <i>Mentha spicata</i> seca a diferentes temperaturas	55
7-8. HygroLab Rotronic usado para medir la actividad de agua	56
7-9. Actividad de agua para la <i>Stevia rebaudiana</i>	57
7-10. Actividad de agua para la <i>Mentha spicata</i> seca a diferentes temperaturas	58

7-11.Montaje por hidrodestilación en fresco y seco.	59
7-12.Colector de destilación. Distancia en mm.	60
7-13.Porcentaje de pérdida de aceite esencial de <i>Mentha spicata</i> seca a diferentes temperaturas	61
7-14.Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Mentha spi-</i> <i>cata</i> en fresco para secar a 40 °C	64
7-15.Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Mentha spi-</i> <i>cata</i> seca a 40 °C	65
7-16.Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Mentha spi-</i> <i>cata</i> en fresco para secar a 50 °C	66
7-17.Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la <i>Mentha spi-</i> <i>cata</i> seca a 50 °C	66
C-1. Cromatograma Mentha Spicata fresca.	97
C-2. Cromatograma Mentha Spicata seca a 40 °C.	99
C-3. Cromatograma Mentha Spicata fresca.	101
C-4. Cromatograma Mentha Spicata seca a 50 °C.	103

Lista de símbolos

Nomenclatura

Símbolo	Término	Unidad SI
A_w	Actividad de agua	—
X_e	Humedad en equilibrio	% <i>bs</i>
X_m	Contenido de humedad de monocapa	—
$A, B, C, K_1, K_2, a, b, k$	Característica del producto	—
K	Factor de corrección de la multicapa	—
T	Temperatura	°C
MR	Relación de Humedad	—
CH_e	Contenido de humedad en equilibrio	%
M	Contenido de humedad en un tiempo específico	%
M_0	Contenido de humedad inicial	%
CH_{bh}	Contenido de humedad en base húmeda	%
CH_{bs}	Contenido de humedad en base seca	%
W_a	Peso del agua	<i>gr</i>
W_{ms}	Peso de la materia seca	<i>gr</i>
W_i	Peso inicial	<i>gr</i>
W_f	Peso final	<i>gr</i>
CH_i	Contenido de humedad inicial	%
CH_f	Contenido de humedad final	%
% <i>A</i>	Porcentaje de área	%
TR	Tiempo de retención	<i>min</i>
IR	Índice de retención	—
$\sum C$	Suma de colonias contadas en todas las cajas	<i>UFC</i>

Símbolo	Término	Unidad SI
n_1	Número de cajas en la primera dilución	<i>Unidad</i>
n_2	Número de cajas de la segunda dilución	<i>Unidad</i>
d	Factor de dilución con que se obtuvo el primer recuento	—
V_0	Volumen de Xileno	<i>ml</i>
V_1	Volumen total de aceite volátil y xileno	<i>ml</i>
m	Masa de la muestra	<i>gr</i>
W	Contenido de húmeda	%

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>CIELAB</i>	Espacio Uniforme de Color CIE L*, a*, b*
<i>UFC</i>	Unidades Formadoras de Colonias
<i>PDA</i>	Agar Papa Dextrosa
<i>bs</i>	Base Seca
<i>bh</i>	Base Humedad
<i>GS – MS</i>	Gas Chromatography–Mass Spectrometry
<i>CIE</i>	Commission Internationale d’Eclairage
<i>COST</i>	Cooperation in the field of scientific and technical research in Europe
ΔL^*	Diferencia de luminosidad
Δa^*	Diferencia de rojos a verdes
Δb^*	Diferencia de amarillos a verdes
ΔE^*	Diferencia de total de color
ΔC^*	Diferencia en la saturación o croma
ΔH^*	Diferencia del tono
Δh^*	Diferencia del ángulo del tono

1. Introducción

La producción de hierbas aromáticas y medicinales ha tomado relevancia en los últimos años en el mundo por la apertura de barreras arancelarias y por las tendencias del mercado hacia los productos con propiedades terapéuticas y medicinales; la industria alimentaria esta cada vez más interesada en las hierbas aromáticas, debido al creciente aumento de los consumidores por la demanda de alimentos sanos de origen natural [47], organicos y en la línea de productos "listos para consumir".

En Colombia, especialmente en la sábana de Bogotá, la diversificación de la producción agrícola ha sido importante para mitigar la decadencia que ha sufrido la producción de flores y el ingreso de nuevas áreas a la producción de cultivos con un alto nivel de tecnificación. Se estimó un aumento para el año 2011 del área dedicada a la producción de menta en más de 60 ha [34].

En cuanto a la transformación de las plantas aromáticas y medicinales, en la Región de Bogotá y Cundinamarca se llevan a cabo tres clases de procesos, dependiendo del producto final que se desee obtener, el acondicionamiento del material vegetal, el procesamiento y la refinación. El primero hace referencia a todas las operaciones de deshidratado, molienda y mezclado con otros materiales, incluyendo el procesamiento poscosecha, en el caso de las materias primas vegetales. Todo esto con el fin de obtener un vegetal de alta calidad desde el punto de vista higiénico y terapéutico, minimizando de esta manera la contaminación microbiana y los cambios posibles desde el punto de vista físico y químico [67].

En el país, la comercialización de las hierbas aromáticas y medicinales se puede realizar en función del mercado y del tipo de hierba a comercializar, en forma fresca o sometiénolas a procesos de secado. En estado fresco, en general, las hierbas aromáticas y medicinales se someten a temperaturas alrededor de los 2°C y se empacan en bolsas de polietileno de baja densidad para su posterior embalaje y comercialización [78], disposición común para el mercado de exportación. No obstante, aunque se garanticen las condiciones óptimas de almacenamiento, la vida útil de este producto es corta por su alta tasa respiratoria y su bajo contenido de reservas. La deshidratación o secado de hierbas aromáticas y medicinales, es una forma complementaria de comercialización y alternativa para la inserción a nuevos mercados. El efecto sobre el producto que se desea obtener con el secado es reducir su actividad metabólica y facilitar su almacenamiento, transporte y conservación.

La experiencia colombiana en secado de hierbas aromáticas y medicinales se realiza de acuerdo a la experiencia del productor, siendo común la adaptación de sistemas de secado de otros productos ante la escasez de información sobre condiciones óptimas de secado para las hierbas aromáticas y medicinales. En Colombia las experiencias en el desarrollo investigativo del secado de café [71] han sido importantes y son base para los equipos empleados en otros productos.

Las hojas de la *Stevia rebaudiana* Bertoni se han utilizado tradicionalmente como un edulcorante natural durante cientos de años. Hoy en día, el uso potencial y las implicaciones prácticas de la Stevia como edulcorante se muestran en una serie de alimentos procesados, tales como bebidas de frutas, galletas, panes, etc. Como sustituto del azúcar comercializado en países como Francia, España y EE.UU. entre otros, debido a que la Stevia contiene steviol - glucósidos, que son un ingrediente no calórico, de 100 a 300 veces más dulce que la sacarosa. Además, las hojas secas de Stevia también contienen minerales, vitaminas, compuestos fenólicos, flavonoides y otros compuestos antioxidantes, con efectos beneficiosos sobre la salud humana. Sin embargo, existen pocos datos disponibles sobre la estabilidad bajo diferentes condiciones de procesamiento y almacenamiento [16].

La Hierbabuena *Mentha spicata* ha sido usada como planta medicinal y aromática desde tiempo antiguos, sus hojas son usadas para saborizante, infusión y especie [36]. El aceite esencial de la menta es particularmente usado como descongestionante, antiespasmódico y antibiótico reportado por algunos trabajos [81]. Los aceites esenciales de especies y/o hierbas puede también ser usado como ingredientes funcionales [22].

Inmediatamente después de la cosecha, estos materiales altamente perecederos en la actualidad tienen que preservarse de su deterioro, siendo el secado el tratamiento más usado actualmente. En el secado se reduce el contenido de humedad de las hierbas aromáticas y medicinales hasta reducir su actividad de agua a valores que permitan su conservación [47].

Dentro de los objetivos establecidos en este proyecto, se priorizó la caracterización del comportamiento de la materia prima durante el secado; con ésta, se pretende definir los parámetros óptimos para el proceso de secado de hierbas aromáticas y medicinales. Estos parámetros se establecen considerando curvas de secado a diferentes temperaturas, isothermas de sorción y se eligen considerando el efecto de la temperatura en el resultado de la calidad organoléptica final del producto.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*).

2.2. Objetivos Específicos

Determinar las curvas de secado e isotermas de sorción para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*) a cuatro temperaturas.

Determinar la influencia del secado sobre el color para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*).

Determinar la influencia del secado sobre la pérdida en el contenido aceites esenciales para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*).

Determinar el mejor tratamiento térmico que inhibe la propagación de mohos y levaduras para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*).

Determinar los compuestos volátiles de los aceites esenciales de las dos temperaturas de secado en las cuales se encuentren los mejores resultados de los parámetros evaluados de color, recuento microbiológico y contenido de aceites esenciales para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*).

3. Estado del arte

Park [65], encontró que el mejor ajuste a curvas de sorción para menta fue el modelo de Peleg para las temperaturas de 30°C y 40°C. La isoterma de sorción para 50°C fue similar a la ajustada para la temperatura de 40°C. El contenido de humedad en equilibrio decreció con el incremento de la temperatura para valores constantes en la actividad de agua.

Argyropoulos y Rainer [7] determinaron el contenido de humedad en equilibrio para hojas y tallos de toronjil a temperaturas de 25, 35 y 45 ° C, aumentando de humedad relativa que van desde 3 a 90 % por un analizador automático gravimétrico. Encontraron diferencias en la capacidad de absorción de la humedad entre las hojas y tallos, esto puede atribuirse a la composición química y estructura de los tejidos. Los datos experimentales de sorción los ajustaron a cinco modelos de sorción de humedad de tres parámetros (Chung-Pfost y GAB, Halsey, Henderson, Oswin). La ecuación Oswin mostró ser el mejor modelo para describir las isotermas de adsorción tanto de hojas como de tallos de toronjil. Los valores recomendados de la humedad en equilibrio en hojas y tallos para el almacenamiento a 25 °C fueron de 0.124 y 0,113 kg de agua por kg de sólidos secos, respectivamente.

Ghodake [42] evaluó seis modelos de curvas de sorción en hojas de té, encontrando que el modelo de Halsey modificado describe correctamente las isotermas de sorción para las hojas té negro y verde.

El secado es un proceso complejo que integra simultáneamente la transferencia de calor y de masa. La cantidad de energía para secar un producto particular depende de muchos factores, tales como contenido de humedad inicial, contenido de humedad final deseado, temperatura y velocidad del aire de secado [54]. El tiempo total de secado se reduce considerablemente con el incremento en la temperatura y bajo contenido de humedad del aire de secado [3].

Doymaz 2006, [36] estudió el comportamiento de secado en capa fina de hojas de menta para un rango de temperatura de 35-60 °C en el horno secador. El aumento de la temperatura del aire redujo significativamente el tiempo de secado de las hojas de menta. Se ajustaron los datos a cuatro modelos experimentales de secado en capa delgada disponibles en la literatura. Entre todos los modelos de secado, se encontró que el modelo logarítmico se ajustó satisfactoriamente para describir la cinética de secado de las hojas de menta.

El secado de hierbas inhibe el crecimiento microbial y previene ciertos cambio bioquímicos, pero al mismo tiempo, puede conllevar a alteraciones que afectan la calidad de las hierbas aromáticas, tales como cambio en la apariencia y alteraciones en aroma causados por pérdidas en volátiles. Puede también promover la formación de nuevos volátiles como resultado de reacciones de oxidación o reacciones de esterificación [47] y también ocasiona indeseables cambios en apariencia, textura, sabor y color que no son deseables, afectando la calidad del producto final. [11]

Por otra parte, el proceso de secado usualmente tiene un efecto significativo en la calidad y cantidad de los aceites esenciales comparado con el estado en fresco [12]. Existen varios métodos de secado dentro de los cuales el secado convectivo (CD) es el método más popular aplicado para reducir el contenido de humedad de frutas y vegetales, incluyendo hierbas aromáticas. Sin embargo, este método tiene varias desventajas y limitaciones, tales como el uso de altas temperaturas que degrada importantes sabores y componentes nutricionales. Estas consecuencias negativas son adicionalmente intensificadas por un tiempo largo de secado. [22]. Otro método, es el secado solar que permite entregar un producto con un color rico y una apariencia translúcida, pero tiene muchas desventajas tales como un proceso lento, exposición a contaminación ambiental, dependencia de las condiciones ambientales y el alto requerimiento de mano de obra [59]. También existe el secado mediante microondas al vacío (VM), la tecnología es un método moderno y eficiente de conservación de alimentos. Durante el secado (VM) la energía de las microondas es absorbida por las moléculas de agua situados en todo el volumen del material que se secó. El vacío conlleva a la disminución de presiones induciendo una evaporación más rápida del agua del material a una temperatura relativamente baja. El sistema de VM no es todavía común en la industria agroalimentaria, aunque esta técnica se está investigando en productos como las zanahorias, tomates y dientes de ajo [60].

En hierbas como limonaria, orégano y menta piperina inmediatamente después de la cosecha y posterior secado [23] se encontraron pérdidas en su actividad antioxidante, en el contenido de fenoles totales, de ácido L-ascorbico y de carotenoides. Hossain et al.[47], evaluaron las técnicas de secado con vacío, al ambiente y liofilización para romero, orégano, mejorana, salvia, albahaca y tomillo; la liofilización y el secado con vacío demostró que son técnicas muy útiles para minimizar la pérdida de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. El secado al aire probó aumentar el contenido de fenoles para todas las muestras, siendo más alto en hierbas leñosas, tales como el tomillo y el romero. Las hierbas frescas exhibieron un bajo desempeño entre los tratamientos, mostrando que estos son muy propensos a degradación externa (oxidación por el oxígeno atmosférico) e interna (por la actividad enzimática).

por otra parte Asekun [12], determinaron la cantidad y calidad de aceites esenciales de *Mentha longifolia* secada al sol, al ambiente y en condiciones de laboratorio secado en horno a

40 °C. El componente encontrado más importante del aceite esencial fue la mentona (47,9 y 38,3 %) para el secado al sol y al ambiente, mientras que el aceite extraído de las hojas secas en el horno el mayor componente fue limoneno (40.8 %); la pulegona es el mayor componente del aceite de las hojas frescas. La Mentona y la pulegona no fueron identificadas en el aceite extraído de las hojas secadas en horno. El mismo autor expone que el aceite esencial de las hojas secas por los tres métodos, en el proceso de secado es sometido a una significativa transformación química en sus componentes monoterpenoides.

Arslan [11], evaluó el efecto del secado con horno de microondas (50°C) y secado solar, en el contenido mineral de Menta (*M. x piperita* L.). Con el secado solar la tasa de pérdida de agua en el periodo no fue observada en el experimento, pero fue evidente que la remoción de humedad del material fue gobernado por un fenómeno de difusión. El secado con microondas disminuyó el tiempo de secado, revelando el mayor valor en el contenido fenólico y valores óptimos de color. Los valores de minerales en las muestras secas mostraron variabilidad acorde al método de secado. Los valores de la difusividad efectiva obtenidos fueron 150 veces mayores que el secado al sol y en horno (50°C). La deterioración de la calidad nutricional y comercial del producto podría ser reducida efectivamente con el secado con horno de microondas.

Calín [22], evaluó la influencia de tres métodos de secado sobre los componentes de albahaca (*Ocimum basilicum* L.): convección (CD), microondas vacío (VMD) y una combinación del proceso convectivo (CPD) y un microondas al vacío al final de secado (CPD-VMFD). La cantidad total de volátiles de albahaca fresca, 32,1 g/kg, decreció considerablemente durante CD y VMD, 14,4 g/kg. El CPD-VMFD (40 °C y 360 W) fue la mejor opción para el secado de albahaca. El tiempo requerido fue relativamente corto aproximadamente 250 min, y las características de la calidad en cuanto al aroma fueron buenas de acuerdo a los datos instrumentales (concentración total de volátiles 16,7 g/kg) y datos sensoriales (alta intensidad de notas frescas y florales). En general, de acuerdo a los datos organolépticos, el efecto de secado con microondas (VMFD) fueron más significativo que del aire caliente (CPD).

Los efectos antimicrobiales de los aceites esenciales de plantas aromáticas están influenciados por su composición, método de procesamiento y tipo de microorganismo. Además, en la naturaleza y por las condiciones agronómicas y de crecimiento de la población por ejemplo en el caso de "las mentas" son muy variables respecto a su composición en su aceite esencial y quimiotipos o razas químicas (i.e. plantas con diferencias llamativas en composición cualitativa). Plantas de una única especie o híbrido puede tener diferentes olores, mientras plantas de diferente quimiotipo, pueden tener olor similar (Karousou et al., 2007) [51].

Karagözlü [50], Evaluaron en refrigeración a 4°C durante 7 días tres concentraciones de aceites esenciales de menta y albahaca como tratamiento desinfectante de hojas de lechuga

fresca, inoculadas con salmonella y escherichia coli. El aceite esencial de menta mostró un mayor efecto antimicrobial sobre los patógenos comparado con el aceite de albahaca.

Otras investigaciones muestran el impacto que tiene el secado con aire caliente sobre el contenido de aceite esencial del Toronjil y su composición, Argyropoulos [10] investigó el secado de Toronjil a diferentes temperaturas en el rango de 30 a 90 °C. En todos los casos, la mayor parte de la pérdida de aceite se observó al principio del proceso de secado y fue proporcional a la temperatura de secado. El secado convectivo de hojas a 30 y 45 °C dio como resultado 16 % y 23 % de pérdida en el aceite esencial, mientras que el secado a temperaturas más altas causó importantes pérdidas de aceite esenciales , por ejemplo 65 % a 60 °C.

Rahimmalek [69], evaluó el efecto de seis tratamientos de secado al sol, a la sombra, en el horno a 50 y 70 °C, en microondas y por liofilización sobre el color en hojas de Tomillo; comparó hojas secas tomando con referencia a las hojas frescas, encontró que el secado al horno a temperatura más alta dio lugar a una considerable disminución en la calidad de color de las hojas que tuvieron la mayor amarillez en comparación con otros tratamientos, es decir a las temperaturas más altas con tiempo de secado largo se causó la degradación del color. El tratamiento con microondas previno el daño del color durante el proceso de secado. (Weemaes et al., 1999) citado por Rahimmalek [69] reportó que a temperaturas superiores a 60 °C hay degradación de la clorofila durante el proceso de secado; el magnesio en la clorofila se sustituye fácilmente por dos átomos de hidrógeno en presencia de ácidos suaves tales como el oxálico o ácido acético para producir feofitina. Arabhosseini [6] secó hojas de estragón a temperaturas de 45, 60 y 90 °C, evaluó el efecto de almacenamiento a los 15, 30, 60 y 120 días en el color de las hojas; los resultados mostraron cambios en los parámetros del color durante el período de almacenamiento. El mayor cambio expresado por el valor de matiz se encontró que el material secado a 90 °C, el seco a 45 °C presentó los cambios más pequeños de calidad.

Sellami [73] estudió el efecto de seis diferentes métodos de secado en el contenido y composición química del aceite esencial de hojas de Laurel. Los aceites esenciales de muestras frescas y secas se analizaron por Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas (GS-MS). Los resultados mostraron que el secado a temperatura ambiente y por infrarrojos a 45 °C aumentó significativamente el contenido de aceite esencial. Cuarenta y siete componentes que se determinaron en los aceites esenciales, los cuales fueron en su mayoría monoterpenos oxigenados. Los principales componentes son 1,8-cineole, methyl eugenol, terpinen-4-ol, linalool y eugenol mostraron variaciones significativas con métodos de secado. Las concentraciones de estos compuestos aumentaron significativamente en el caso de la temperatura ambiente. Estos resultados permitieron concluir que este método de secado es el que produjo los mejores resultados en términos de contenidos esenciales compuestos del aceite esencial y bioactivos.

4. Marco teórico

4.1. Características Generales

4.1.1. Características de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni)

Nombre científico: *Stevia rebaudiana*

Nombres vulgares La stevia se conoce popularmente de diversas maneras en castellano: se denomina como hoja dulce, hoja de caramelo, hierba de miel, dulce hierba o stevia. En francés stevia, mientras que en portugués erve doce [32], [66].

Descripción: La *Stevia rebaudiana* es un arbusto herbáceo, perenne, de la familia de las Asteraceae. Presenta tallo erecto, subleñoso, pubescente ¹, que crece en las zonas tropicales y subtropicales de América del Sur [16]. De acuerdo a Landázuri y Tigrero [64] puede alcanzar hasta 90 cm de altura en su hábitat natural y en los trópicos supera las alturas de 100 cm. La raíz es pivotante, filiforme y no profundiza, distribuyéndose cerca de la superficie. Presenta hojas elípticas, ovales o lanceoladas, con una disposición opuesta en sus estados juveniles, y alternas cuando las plantas llegan a su madurez fisiológica, previa a la floración. Se clasifica como una planta de día corto, situando el fotoperíodo crítico de 12 a 13 horas según el ecotipo de Landázuri y Tigrero [64]. En cuanto a la flor es hermafrodita, pequeña y blanquecina; su corola es tubular, pentalobulada, en capítulos pequeños terminales o axilares, agrupados en panículas corimbosas.

Cultivo: Para Landázuri y Tigrero [64], los suelos óptimos para el cultivo de stevia, deben presentar textura franco arenosa con buena permeabilidad y drenaje, baja o nula salinidad y un pH 6,5 - 7. Los excesos en humedad y en contenido de materia orgánica desencadenan problemas fúngicos en la planta. En cuanto a la siembra según Ramírez [1], recomienda manejar una densidad de 180.000 plantas por hectárea, el arado no debe ser mayor a 25 cm de profundidad y se debe tener especial cuidado en cuanto al control de malezas, debido a que estas afectan la raíz pivotante de la stevia.

Parte útil: Hojas

¹Tallo que presenta una superficie cubierta de vellosidad que retienen el rocío matutino.

Propiedades y aplicaciones: La stevia ha sido tradicionalmente empleada por los nativos de Paraguay por sus propiedades como edulcorante de origen vegetal. Según Martínez [58], diversos estudios han comprobado sus propiedades diuréticas, cardiotónicas, vasodilatadoras, hipotensoras, antiácidas y antibacterianas, además de su fácil metabolismo para personas con diabetes. Sin embargo su mayor impacto radica en su principal componente el Estevióside, presente en las hojas de la planta, siendo un endulzante más potente que el azúcar tradicional, pero sin calorías y sin efectos secundarios; esta característica ha masificado paulatinamente su cultivo y producción siendo incorporado a un sin número de productos. Sus aplicaciones trascienden el campo alimenticio, siendo empleado en la elaboración de tratamientos para la piel, aplicaciones agropecuarias, farmacológicas, fitoterapéuticas, entre otros.

4.1.2. Características de la Hierbabuana (*Mentha spicata*)

Nombre científico: *Mentha spicata*

Nombres vulgares: De acuerdo a Restrepo [40] entre los nombre más populares se encuentran, para Colombia Hierba buena, Yerbabuena, menta. En puerto Rico Agua florida, Toronjil en Cuba y finalmente en Guatemala como Hierbabuena de menta y piperita.

Descripción: Especie perene de hábito herbáceo de 43-84 cm de altura, rizomatosa, de tallos glabros ², angulosos, de color violáceo, de hojas simples, ovaladas de tamaño variable, levemente dentadas, con frecuencia arqueadas hacia abajo, rugosas por el haz, con nervios marcados por el envés, glabras o pelosas solamente en los nervios y margen aserrado, de color verde oscuro, brillante en el haz [19].

Cultivo: La hierbabuena según Quintero [68] es una planta que se cultiva sobre gran diversidad de suelos, sin embargo prefiere las tierras ligeras ricas en materia orgánica y con cierta humedad, con un buen recubrimiento que mantengan de acuerdo a un pH de 6 a 7. En suelos arcillosos, poco profundos y compactos disminuyen su rendimiento. Para su cultivo Mendiola y Montalbán [49] recomienda lugares soleados pero con una ligera sombra, climas húmedos y templados para su desarrollo normal. Se propaga por semillas, esqueje y estolón. Se debe recordar que según Quintero [68] sus cuidados deben estar centrados en la adopción de medidas frente a las altas temperaturas, puesto que su sistema radicular es superficial, no resistente a la sequía.

Parte útil: Hojas [25]

²Tallo que presenta una superficie cubierta de vellosidad dispersa

Propiedades y aplicaciones: La hierbabuena ha sido empleada milenariamente por sus propiedades curativas, entre los usos medicinales y farmacéuticos se encuentra su capacidad analgésica y espasmolítica, carminativa y antiséptica. Siendo comúnmente empleada en tratamientos contra enfermedades como la bronquitis, sinusitis, neuralgia, resfrió, reumas y entre otros trastornos del sistema digestivo, principalmente tratados mediante la infusión de sus hojas; su aceite esencial ha sido usado domésticamente como repelente de mosquitos. Las hojas hacen parte de un sin número de recetas como condimento, aromatizante de comidas y bebidas como en cócteles [62], .

4.2. Isotermas de sorción y actividad de agua

Las isotermas de sorción describen la relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua de un alimento [70]. El conocimiento de la relación entre el contenido de humedad (CH) del material y la humedad relativa (HR) de la atmósfera que lo rodea a una temperatura dada es de gran importancia. Esta relación, conocida como isoterma de sorción, predice los cambios físicos, químicos y microbiológicos, los cuales pueden ocurrir durante el secado, procesamiento y almacenamiento [8].

Los microorganismos se clasifican en tres grandes grupos: bacterias, levaduras y mohos, pueden deteriorar los alimentos de dos formas fundamentales, la primera en forma saprofítica, simplemente deteriorándolos al crecer en ellos, alterando sus propiedades organolépticas como color, olor, textura, sabor y apariencia, y la segunda contaminándolos o produciendo toxinas en forma tal que puedan originar problemas a la salud mediante enfermedades transmitidas por los alimentos. [48] Se ha demostrado que la actividad de agua es un factor clave para la actividad microbiana, producción de toxinas y resistencia al calor de los microorganismos. En general, la actividad de agua para el crecimiento microbiano es de 0,90 para la mayoría de las bacterias, 0,87 para la mayoría de levaduras y 0,80 para la mayoría de los mohos. Las bacterias halófilas, levaduras osmófilas y hongos serófilos pueden crecer a actividades de agua por encima 0,60 [57].

La información de la humedad de absorción puede ser analizada para sugerir una interpretación teórica de microestructura del producto y la interacción física entre las moléculas de agua y la materia sólida de un alimento [8]. El concepto de actividad de agua viene desde una serie de consideraciones termodinámicas que implica la expresión matemática del potencial químico del componente, lo cual constituye la tendencia de un componente a salir del sistema. Este puede también ser definido como la relación entre la presión de vapor de agua en el sistema (alimento) y la presión pura de vapor a un valor constante de presión y temperatura. Otra posible expresión es la humedad relativa de equilibrio o del aire alrededor del alimento a la misma temperatura [70]. La relación existente entre el agua y otros com-

ponentes de un producto determinado define su higroscopicidad, un concepto que está muy extendido en el estudio de los alimentos y se erige como una propiedad crítica que influye en la manipulación, procesamiento, almacenamiento y consumo de materiales biológicos [65].

El calor latente de vaporización del agua en los alimentos es un factor importante para el diseño de equipos de secado. Las propiedades térmicas pueden calcularse mediante fórmulas que se derivan directamente de las ecuaciones de las isothermas de la teoría termodinámica de Clausius-Clapeyron. La ecuación del calor isoterico de sorción puede expresarse en función del contenido de humedad y temperatura [28]. Soysal and Öztekin [75], encontraron que el valor del calor isoterico de sorción para algunas plantas medicinales y aromáticas depende de la especie y tipo de planta.

Existen diversos modelos matemáticos teóricos, semiempíricos y empíricos para la predicción y el ajuste de datos experimentales de sorción de humedad en función de la actividad de agua. La bondad de los ajustes depende de la naturaleza del alimento, el rango de la actividad de agua y otros parámetros [17].

En la tabla 4-1, se presentan los modelos mas usados para describir las isothermas de sorción en alimentos.

Tabla 4-1.: Modelos matemáticos teóricos, semiempíricos y empíricos aplicados a las isothermas de sorción

No. Modelo	Ecuación del modelo	Nombre del modelo	Referencia
1	$X_e = A\left(\frac{Aw}{1-Aw}\right)^B$	Oswin	[65]
2	$X_e = K_1 Aw^{n_1} + K_2 Aw^{n_2}$	Peleg	[65]
3	$X_e = \left(\frac{-A}{\ln Aw}\right)^{\frac{1}{B}}$	Halsey	[65]
4	$X_e = \frac{Aw X_m C}{(1-Aw)(1+(C-1)Aw)}$	BET	[31]
5	$X_e = \frac{Aw K C}{(1-KAw)((1-KAw)+(CKAw))}$	GAB	[31]
6	$X_e = \left(\frac{-\ln(1-Aw)}{k(T+C)}\right)^{\frac{1}{B}}$	Henderson y Thompson	[83]
7	$X_e = \frac{X_m C Aw}{1+Aw}$	Langmuir	[31]
8	$X_e = E - D \ln((C - T) \ln(Aw))$	Chung y Pfof	[83]
9	$X_e = a - b(\ln(1 - Aw))$	Smith	[14]
10	$X_e = \left(\frac{\ln(1-Aw)}{-a}\right)^{\left(\frac{1}{B}\right)}$	Henderson	[35]

Donde:

X_e : Contenido de humedad en equilibrio (bs)

A_w : Actividad de agua

X_m : Contenido de humedad de monocapa

$A, B, C, K_1, K_2, a, b, k$: característica del producto y relacionada con el calor de adsorción

K : Factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa

T : Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

A continuación se presentan la descripción de los modelos usados de acuerdo al año de aparición del mismo:

1. Brunauer, Emmett y Teller (BET), basados en el modelo cinético de Lagmuir desarrollaron en 1938 este modelo, útil para un gran número de alimentos con baja actividad de agua en el (0,05 - 0,45).
2. En 1946, Oswin obtuvo un modelo empírico para curvas sigmoideas, que resulta apropiado para alimentos ricos en carbohidratos y proteínas, para carnes y hortalizas, para el intervalo de actividad de agua entre (0,1 - 0,8).
3. Halsey desarrolló en 1948 un modelo basado en el de BET tratando de eliminar sus restricciones, resultando apropiado para varios alimentos como carne, lácteos y hortalizas, en el intervalo de actividad de agua de (0,1 - 0,8).
4. Uno de los modelos empíricos mas utilizados es el de Henderson, desarrollado en 1952, aplicable a frutas y alimentos proteínicos entre otros, para un rango de actividad de agua (0,10 - 0,75).
5. Guggenheim, Anderson y Boer (GAB) desarrollaron en la década de los 60, un modelo semiempírico con tres parámetros para la adsorción de materiales considerando la presencia de multicapas; este modelo se ajusta adecuadamente en el intervalo completo de actividad de agua para muchos alimentos y viene a constituir una extensión de la ecuación de BET, en el intervalo de actividad de agua de (0,05 - 0,8).
6. Peleg propuso en 1993 un modelo de cuatro parámetros, usando una expresión potencial doble, que mostró ser superior a la isoterma de GAB al ser aplicada a agar, carragenina, gelatina, pectina de bajo metoxilo, salvado de trigo y caseína [35], se ajusta a todo rango de actividad de agua.

Las isotermas de sorción se clasifican de acuerdo a su forma, se establecen cinco tipos, como se muestra en la Figura 4-1. Tipo 1: Isoterma de Langmuir característica de los sólidos

microporosos, las curvas son convexas hacia arriba y crecen a medida que se incrementa el contenido de humedad; se caracteriza porque la adsorción se produce a presiones relativas bajas. Tipo 2: Isotherma Sigmoidal, las curvas son cóncavas hacia arriba, toman en cuenta la existencia de multicapas en la superficie interna de un material, es característica de sólidos macroporosos o no porosos. Tipo 3: Conocida como la isoterma de Flory - Huggins, ocurre cuando la interacción adsorbato - adsorbente es baja. Tipo 4: Es característica de sólidos mesoporosos; presenta un incremento de la cantidad adsorbida importante a presiones relativas intermedias, y ocurre mediante un mecanismo de llenado en multicapas. Tipo 5: Isotherma Brunauer - Emmett -Teller (BET), al igual que la isoterma tipo 3, es característica de interacciones adsorbato-adsorbente débiles, pero se diferencia de la anterior en que el tramo final no es asintótico, está relacionada con las isotermas de tipo 2 y 3 [70].

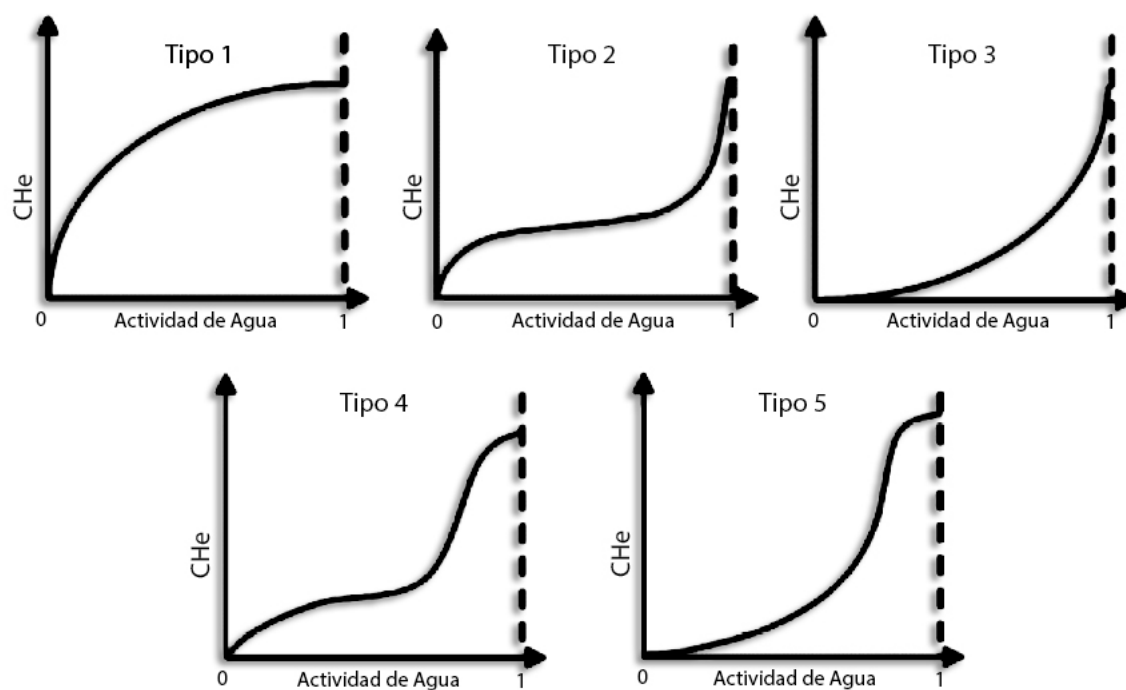


Figura 4-1.: Clasificación de las Isotermas de Sorción [70].

Las dos isotermas que se encuentran con mayor frecuencia en los productos alimenticios son los tipos 2 y 4.

4.3. Cinética del secado

La cinética del secado es generalmente evaluada midiendo la pérdida de peso de una muestra en función del tiempo. Las curvas de secado se representan de diferentes maneras como por ejemplo el contenido de humedad en función del tiempo, la velocidad del secado en función del tiempo o la velocidad del secado en función del contenido de humedad. [31] Para la optimización de la estructura de un sistema de energía, es necesario primero desarrollar el modelo del sistema [54]. Para la modelación matemática del secado de hierbas aromáticas las ecuaciones presentadas en la Tabla: **4-2**, son empleadas para ajustar los modelos de secado.

La regresión se realiza con un programa de computador que permita determinar el coeficiente de determinación (R^2), la suma de error cuadrado (SSE) y el error de raíz cuadrática medio (RMSE), con objeto de evaluar el modelo con mejor ajuste (Anexo A). Los valores más bajos de SSE y RMSE y el valor más alto R^2 indican el más alto ajuste del modelo [37].

La relación de humedad de las hierbas durante el secado se calcula usando la ecuación (4-1), [36]:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4-1)$$

Donde:

MR : Relación de humedad

M : Contenido de humedad en un tiempo específico (% bh)

M_e : Contenido de humedad en equilibrio (% bh)

M_0 : Contenido de humedad inicial (% bh)

El contenido de humedad, entendido como la relación entre el peso del agua y el peso total, se expresa como el contenido de humedad en base húmeda; el contenido de humedad en base seca, es la relación entre el peso de la masa de agua y el peso de la materia seca. La materia seca permanece constante en todo proceso de secado.[55]

Tabla 4-2.: Modelos matemáticos aplicados al secado

No. Modelo	Ecuación	Nombre del modelo	Referencia
1	$MR = e^{-kt}$	Lewis	[11]
2	$MR = e^{-ht^y}$	Page	[4]
3	$MR = e^{(-kt)^y}$	Page modificado	[65]
4	$MR = ae^{-kt}$	Henderson y Pabis	[36]
5	$MR = ae^{-kt} + c$	Logarítmico	[4]
6	$MR = ae^{-k_0t} + be^{-k_1t}$	Modelo Dos terminos	[11]
7	$MR = 1 + at + b^t$	Wang y Singh	[79]
8	$t = aLn(MR) + b(Ln(MR))^2$	Thompson	[4]
9	$MR = ae^{-kt} + (1 - a)e^{(-kbt)}$	Aproximación de difusibilidad	[79]
10	$MR = ae^{-kt} + (1 - a)e^{(-gt)}$	Verma	[44]
11	$MR = ae^{-kt} + be^{-gt} + ce^{-ht}$	Henderson y Pabis modificado	[79]
12	$MR = ae^{(-kt)} + (1 - a)e^{(-kat)}$	Exponencial de dos términos	[4]
13	$MR = e^{-(kt)^n} + bt$	Midilli and Küçük	[11]
14	$MR = a + e^{(-c(t-b))}$	Exponencial Decay	[31]

Donde:

MR : Razón de humedad

t : Tiempo (h)

$a, b, c, g, h, k, k_0, k_1$: Constantes del producto

El contenido de base húmeda (CHbh) se expresa como:

$$CH_{bh} = \left(\frac{W_a}{W_a + W_{ms}} \right) * 100 \quad (4-2)$$

Donde:

CH_{bh} : Contenido de humedad en base humedad (%).

W_a : Peso del agua (g).

W_{ms} : Peso de la materia seca (g).

El contenido de humedad en base seca (CHbs) se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$CH_{bs} = \frac{W_a}{W_{ms}} \quad (4-3)$$

En términos absolutos, el valor del contenido de humedad en base húmeda es menor al valor del contenido de humedad en base seca. El contenido de humedad en una base se puede expresar en función de la otra base empleando la ecuación 4-4.

$$CH_{bh} = \left(\frac{CH_{bs}}{100 + CH_{bs}} \right) * 100 \quad (4-4)$$

Cuando disminuye el contenido de humedad el grano cambia de peso a pesar de que la materia seca permanece constante. La cantidad de agua removida durante el proceso de secado se calcula mediante la ecuación 4-5.

$$W_i \frac{100 - CH_i}{100} = W_f \frac{100 - CH_f}{100} \quad (4-5)$$

Donde:

W_i : Peso inicial (gr)

W_f : Peso final (gr)

CH_i : Contenido de humedad inicial (bh, %)

CH_f : Contenido de humedad final (bh, %)

4.4. Principios activos - Aceites esenciales

Los aceites esenciales son componentes complejos y volátiles por naturaleza, caracterizados por un olor intenso y porque están presentes en las plantas aromáticas como metabolitos secundarios. Estos son usualmente obtenidos por arrastre de vapor o hidrodestilación, método desarrollado en la edad media por los Arabes. Son conocidos por ser antisépticos (i.e. bactericida, virucida y fungicida), y por sus propiedades medicinales y fragancia. Estos son usados

en embalsamamiento, preservación de alimentos y como antimicrobial, analgésico, sedativo, antiinflamatorio, espasmódico y en remedios como anestésico local. Los aceites esenciales han sido ampliamente empleados por sus propiedades naturales. En la actualidad, son conocidos aproximadamente 3000 aceites esenciales, 300 de los cuales son especiales por su importancia comercial para las industrias farmacéutica, agronómica, alimentaria, sanitaria, cosmética y perfumería. [15]

Hay varios métodos de extracción de aceites esenciales tales como presión, enfleurage y destilación. No obstante, la literatura reporta que estos métodos pueden afectar la calidad final del producto, debido a la pérdida de algunos componentes volátiles durante el procedimiento, baja eficiencia de extracción, y degradación de componentes insaturados debido a efectos térmicos o solventes usados en la extracción [30].

El método más tradicional para determinar el contenido de aceite esencial en un material vegetal, consiste en efectuar una hidrodestilación de un peso conocido de material vegetal y recoger el aceite esencial en un tubo graduado que se encuentra en el colector de destilación especialmente diseñado para este tipo de análisis. El colector se acopla a un matraz que contiene el material vegetal y un cierto volumen de agua, el cual se calienta mediante una manta calefactora, de potencia regulable, para provocar la destilación. Tras la destilación, se puede medir el volumen de esencia destilado y fácilmente calcular el contenido, que se expresa en porcentaje volumen / peso (mL de aceite esencial por 100 g de material vegetal) [21]. Para cuantificar el contenido de aceite esencial volátil en las plantas aromáticas se usa la ecuación (4-6) [24].

$$100 * \frac{V_1 - V_0}{m} * \frac{100}{100 - W(\%)} \quad (4-6)$$

Donde:

V_0 : Volumen de Xileno en ml.

V_1 : Volumen total de en ml de aceite volátil y xileno.

m : Masa en g de la muestra.

$W(\%)$: Contenido de húmeda.

Hoy en día, nuevas técnicas están disponibles y que pueden reducir la pérdida de componentes bioactivos debido a los tiempos largos de extracción. Entre ellos, la extracción asistida por microondas, se está convirtiendo en una buena opción en muchos campos, especialmente en la investigación de extracciones de plantas medicinales [30].

La acumulación de aceite esencial y su composición en plantas aromáticas depende de varios factores tales como estructura genética, los factores ambientales y las prácticas agronómicas.

La *Mentha Spicata* es una de las principales plantas aromáticas cultivadas para la producción de aceites esenciales. Experimentos en campo fueron llevados a cabo para determinar el efecto de la variación ambiental en la nueva Turquía en la composición del aceite esencial de *Mentha Spicata*. Las muestras fueron analizadas por GC-MS dando como resultado que los diferentes factores ambientales afectan cuantitativamente la composición del aceite; el estudio reveló que los hidrocarburos monoterpenos tales como D-limonene y el β -phellandrene fueron mayores en clima templado que en clima frío. Por otra parte, trans- β -caryophyllene y el germacrene D, los principales hidrocarburos de los sesquiterpenos del aceite, fueron mayores en climas cálidos. La Pulegona componente principal, la piperitona y otros monoterpenos como 1,8- cineol también mostraron una variación significativa entre los diferentes climas [76].

Técnicas que combinan procesamiento con altas presiones y aplicación de aceites esenciales de menta han demostrado un efecto sinérgico en el control de *Listeria monocytogenes* en una bebida de yogurt; lo que permite una reducción en las presiones y/o en los tiempos de exposición de este proceso y ninguna afectación en el producto por la adición del aceite esencial [38]; estos resultados son prometedores en la utilización de pocos preservativos en la industria alimentaria.

4.5. Variación en el color

El color es una de las principales características de calidad de los alimentos y la principal característica perceptible por el consumidor. Varios pigmentos presentes en los alimentos se correlacionan con el contenido en compuestos bioactivos tales como compuestos fenólicos, carotenoides, betalaínas y vitaminas. Han revelado en varios estudios que su consumo diario promueve la salud de los seres humanos mediante la reducción de los niveles de colesterol, esclerosis coronaria, factores de riesgo cardio vascular, entre otros efectos beneficios. [72]

El color se describe en términos de valor, que es de claridad u oscuridad de un color, o la cantidad relativa de blanco o negro de un tono. Si el blanco es agregado como incremento a cualquiera de los colores, obtendremos valores más claros del tono, llamados tintes. El incremento de gris en un tono da por resultado valores más oscuros de tono, conocidos como matices [18].

El espacio de color $L^* a^* b^*$ (también referido como CIELAB) es uno de los espacios de color más usados para medir la composición cromática de un objeto y es ampliamente utilizado en todos los campos. Es un espacio de color definido por la CIE en 1976 con el fin de reducir uno de los principales problemas del espacio original en color Yxy . En este espacio de color, L^* indica la luminosidad, a^* y b^* las coordenadas de color; la figura 4-2 muestra el color en $a^* b^*$ desde el plano horizontal con un valor de L^* constante y en la figura 4-3 se indica la

direcciones de color: $+a^*$ es la dirección del rojo, $-a^*$ es la dirección verde, $+b^*$ es el direccion del amarillo y $-b^*$ es la dirección azul.

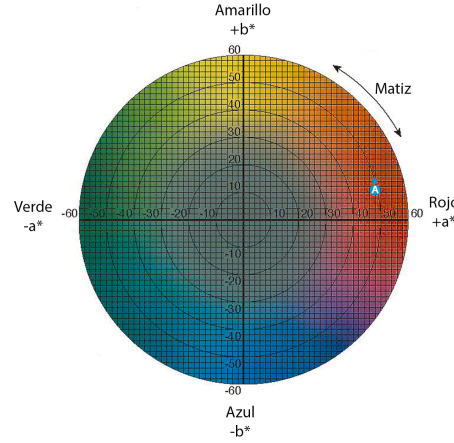


Figura 4-2.: Representación en el plano horizontal del espacio de color $L^* a^* b^*$

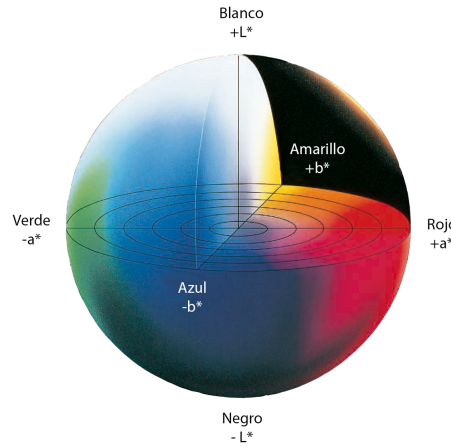


Figura 4-3.: Representación tridimensional del espacio de color $L^* a^* b^*$

En el espacio $L^* a^* b^*$, la diferencia del color puede ser expresada en un valor numérico ΔE^*_{ab} , el cual indica la magnitud entre dos colores, pero no indica la saturación, el tono y la luminosidad; el ΔE^*_{ab} esta definido por la ecuación 4-7, en la figura 4-4 se explica mejor este concepto; para analizar la diferencia total en la luminosidad, la saturación y el tono entre dos colores, es útil calcular la medida del tono entre el color de referencia y el observado usando la ecuación 4-8.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4-7)$$

Donde:

$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$: es la diferencia entre $L^* a^* b^*$ de la referencia y $L^* a^* b^*$ de comparación.

$$\Delta H_{ab}^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \quad (4-8)$$

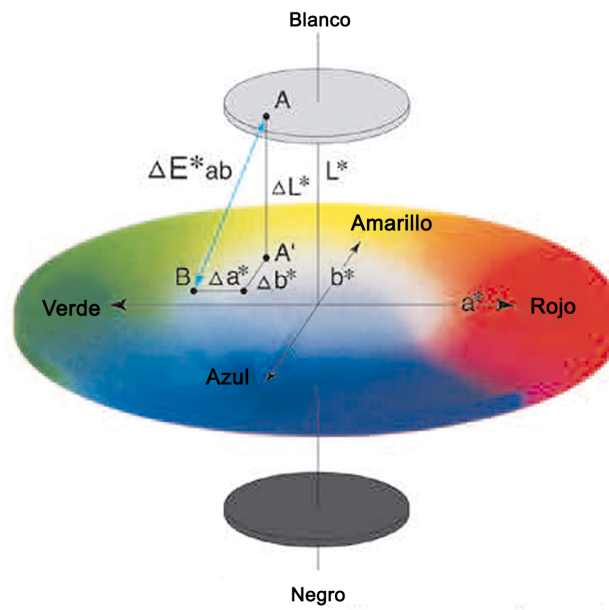


Figura 4-4.: Diferencia del color en el espacio $L^* a^* b^*$.

La diferencia en el ángulo de tono $^{\circ}h_{ab}$ entre el color observado y el de referencia puede ser correlacionado con diferencias visuales del tono percibido. La diferencia de saturación $\Delta^{\circ}C_{ab}^*([C_{ab}^*]_{observado} - [C_{ab}^*]_{referencia})$ puede ser relacionado con diferencias de saturación percibido visualmente. La medida de color C^* y del ángulo de tono h se definen por las formulas 4-9 y 4-10 [77]. En la figura 4-5 se puede apreciar el concepto.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4-9)$$

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), [grados] \quad (4-10)$$

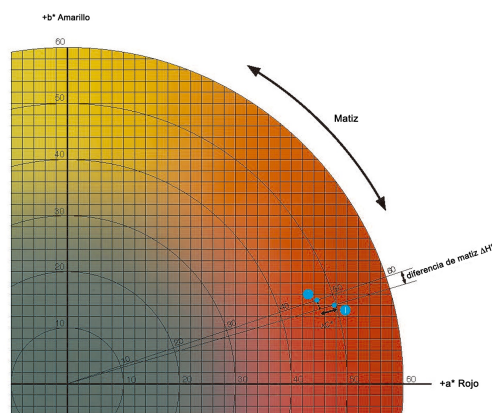


Figura 4-5.: Diagrama de cromaticidad

La diferencia de tono es positiva si el ángulo h del observado es mayor al de referencia y es negativa si el ángulo h del observado es menor a la referencia [52].

4.6. Calidad microbiológica

El análisis microbiológico, hace parte de los criterios que garantizan la calidad en los alimentos, junto con las características organolépticas, físicas y nutritivas. Estos criterios son normalizados por políticas internacionales establecidas por entidades como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO [39], la Comisión Internacional sobre Especificaciones Microbiológicas para los Alimentos ICMSF, y el CODEX Alimentarius [5], ajustándose a las características de cada país y particularmente al alimento en estudio (en este caso Hierbas aromáticas y medicinales), evidenciada en la Norma Técnica Colombia NTC 4132 [26] y NTC 2698 [27].

En la presente investigación se asume que la calidad microbiológica se refiere de acuerdo a fomesa.net [43] a la ausencia tanto interna como externa de mohos y levaduras; teniendo como objetivo garantizar al consumidor el abastecimiento de productos salubres e inocuos, evitando el deterioro microbiológico de los mismos.

De acuerdo a lo anterior, es importante destacar que la presencia de hongos y levaduras en los análisis microbiológicos de acuerdo a Bravo [20] indican dos elementos claves en términos de calidad, estos son la edad del alimento y el grado de contaminación ambiental. Este último se debe a la relación entre el crecimiento de la microbiota y la cantidad de humedad en el alimento o del lugar de almacenamiento.

Se debe recordar que los hongos son microorganismos eucariotas que constituyen un grupo grande y diverso, que presentan según Volcy [82] 70.000 especies descritas de 1'500.000 especies estimadas. Ubicándose en él, de acuerdo a Madigan [56] los hongos filamentosos, levaduras y setas; configurándose como los microorganismos mejor capacitados para soportar ambientes de baja humedad así como pH ácidos y alcalinos [41]. En cuanto a los hongos fitopatógenos que afectan las distintas especies de la flora aromática [33], destaca los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, los cuales están ampliamente difundidos en el ambiente, generando micotoxinas durante el cultivo, la cosecha o el almacenamiento.

A continuación se presenta en la tabla 4-3, las características macroscópicas más relevantes de los hongos filamentosos y levaduriformes.

Tabla 4-3.: Características macroscópicas de hongos filamentosos y levaduriformes.

Tipo de crecimiento	Características de las colonias	Diámetro	Tiempo de crecimiento
filamentosos	Colonias vellosas, algodonosas o pulverulentas, de vistosos y variados colores. En el reverso, pueden observarse pigmentos difundidos en el medio	10-30 mm	Radial de modo progresivo 3-20 días
levaduriformes	Colonias semejantes a las bacterianas cremosas.	3-7 mm	Rápido 24-72 horas

Entre las condiciones ambientales requeridas que se deben controlar para evitar el crecimiento de los hongos se encuentran según García [41] factores como la temperatura, la cantidad de oxígeno, el pH y la concentración de solutos.

En cuanto a la temperatura, la mayoría de los hongos pueden ser considerados mesófilos, con temperaturas óptimas de crecimiento entre 22 y 30 °C, mientras que algunos hongos patógenos para el hombre y animales tiene una temperatura óptima entre 30 y 37°C. Otros pueden crecer a temperaturas de refrigeración y aun a 0°C o menos, causando el deterioro de alimentos refrigerados o congelados. Finalmente se encuentra un pequeño grupo de hongos termofílicos con una temperatura óptima elevada de 62°C, [41].

El rango de tolerancia al pH de los hongos es muy amplio, oscilando entre valores de 2.0 a

9.0, pero el valor óptimo de acuerdo a Tortora et al. [80] y García [41] se encuentra alrededor de 5, siendo muy ácido para el crecimiento de bacterias.

Según la NTC 4132 [26] el recuento de los mohos y las levaduras se calcula de acuerdo a la ecuación 4-11

$$\frac{\sum C}{(n_1 + 0,1n_2)d} \quad (4-11)$$

Donde:

$\sum C$: es la suma de colonias contadas en todas las cajas.

n_1 : es el número de cajas contadas en la primera dilución.

n_2 : es el número de cajas contadas de la segunda dilución.

d : es el factor de dilución con que se obtuvo el primer recuento.

En cuanto a la normatividad del uso y calidad del material vegetal seco (hierbas aromáticas), la NTC 2698 (1998) [27] reglamenta los requisitos y ensayos a los que deben ser sometidas las plantas aromáticas en bolsas filtrantes para consumo humano; encontrándose en el numeral 4.2 los requisitos microbiológicos descritos en la tabla 4-4

Tabla 4-4.: Requisitos microbiológicos para las plantas aromáticas en bolsas filtrantes

Requisito	n	m	M	C
NMP de coliformes fecales./g	3	4	40	1
Recuento de mohos y levaduras, UFC/g	3	10.000	100.000	1
Detección de Salmonella /25g	3	0	-	0

Donde:

n: número de muestras que se van a examinar.

m: índice máximo permisible para identificar el nivel de buena calidad.

M: índice máximo permisible para identificar el nivel aceptable de calidad.

C: número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M.

4.7. Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas (GS-MS)

La cromatografía de gases (GC) es tal vez el método más importante para análisis de aceites esenciales, por su rapidez y confiabilidad; es una técnica de separación que se basa principalmente en fenómenos de partición entre una fase móvil gaseosa (helio, argón, hidrógeno, nitrógeno) y una fase estacionaria constituida por un líquido muy viscoso retenido en el interior de una columna de cromatografía [21].

La cromatografía de gas (GC) es usada principalmente en aplicaciones que involucran análisis de alimentos. Las aplicaciones típicas pertenecen al análisis cuantitativo y/o cualitativo de la composición de alimentos, productos naturales, aditivos de alimentos, componentes de sabor y aroma, en una variedad de productos para transformación y contaminantes, tales como pesticidas, fumigantes, contaminantes ambientales, toxinas naturales, drogas veterinarias y materiales de empaque [53].

Para la identificación de los componente del aceite esencial mediante (GC) se utiliza frecuentemente la comparación de sus tiempos de retención (tiempo transcurrido entre la inyección de la muestra y la aparición del pico cromatográfico) con los patrones. Sin embargo, los tiempos de retención están fuertemente influenciados por numerosas variables, como la técnica de inyección, las variaciones de temperatura o flujos de los gases, el diseño del equipo, etc.

La identificación de los componentes del aceite esencial se realiza a través de la comparación de los índices de retención de Kováts para dos fases estacionarias, polar y apolar, de las sustancias patrones, con los índices de Kováts obtenidos para los componentes de los aceites, los cuales están reportados en la literatura. Las fases estacionarias más adecuadas son de CARBOWAX 20M (polietilenglicol, fase polar) y OV-101 (DB-1) (polimetilsilicona, fase polar) [21].

Algunos detectores pueden proporcionar información adicional acerca de los solutos. Un ejemplo es la Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masa (GS-MS), que produce un espectro de masa de cada componente al igual que su masa y ubicación en el cromatograma (Figura 4-6). Este medio poderoso de detección puede utilizarse cuando no se dispone de estándares que ayuden a determinar las identidades de los solutos. Un haz de iones bombardea cada compuesto a medida que emerge del cromatógrafo. El compuesto se rompe en iones de diferente masa y proporciona una extensión de picos angosto en lugar de un valor máximo para cada compuesto [13].

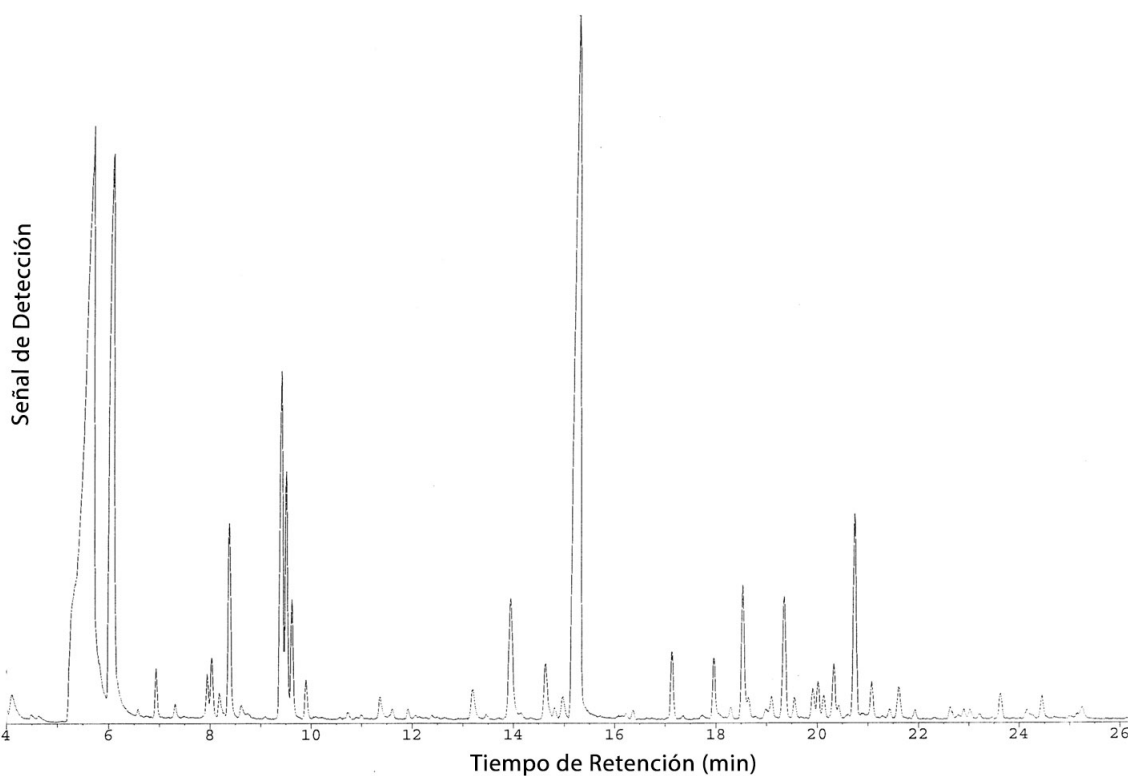


Figura 4-6.: Cromatograma para aceite esencial de la *Mentha spicata*.

Los estudios de caracterización de aceites esenciales emplean diferentes métodos de separación cromatográficos [29]; empleando el método de análisis directo espectrometría de masas en tiempo real se reporta los seis componentes de los aceites esenciales encontrados en mayor frecuencia para aceite *Mentha*: limoneno, isopulegol, mentona, mentol (dos isómeros) y acetato de mentilo.

5. Isotermas de sorción y ajustes a modelos matemáticos

5.1. Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de transmisión de calor del departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, laboratorio de poscosecha del Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, laboratorio de aromas y sabores de la Facultad de Ciencias y en el laboratorio de microbiología de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Las muestras de material vegetal de la *Stevia rebaudiana* provino de los invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en la ciudad Bogotá (N:04°38'8", W:74°4'58"); la cosecha del material vegetal se realizó en los meses abril y agosto del 2013, el corte se efectuó en horas de la mañana. La *Mentha spicata* procede de un cultivo bajo invernadero ubicado en la población del Rosal Cundinamarca. (N:04°52'075", W:74°13'583"); el material vegetal fue cosechado en los meses abril y septiembre del 2013, el corte se realizó en horas de la mañana y antes de la floración. La *Stevia rebaudiana* y la *Mentha spicata* después de cosechado fue guardado en bolsas de tela y se mantuvo en refrigeración a 4 °C por un periodo máximo de 24 horas que garantizó una adecuada conservación de su contenido de humedad.

Las isotermas de sorción se determinaron experimentalmente según el método recomendado por el proyecto europeo COST 90 [74], este procedimiento se basa en el método gravimétrico que utiliza solución salina, en donde una masa conocida de muestra por triplicado se deja hasta que llegue a equilibrio junto con la atmósfera producida en la solución saturada de sal, contenida en un frasco de vidrio sellado con actividad de agua conocida. La solución salina saturada se preparó de acuerdo a la norma DIN 50008 de 1981 [63] mostrados en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1.: Concentración y pureza de las soluciones salinas saturadas acuosas [63].

Nombre	Formula Química	Solubilidad $\frac{g}{100gH_2O}$	Pureza %
Cloruro de Potasio	KCl	34	99
Cloruro de Sodio	$NaCl$	36	99
Nitrito de Sodio	$NaNO_2$	82	97
Nitrato de Magnesio	$Mg(NO_2)_2$	71	99
Carbonato de Potasio	K_2CO_3	112	99
Cloruro de Magnesio	$MgCl_2$	54	96
Acetato de Potasio	CH_3COOK	228	99,6
Cloruro Litio	$LiCl$	83	98

En cada solución salina se introdujo por triplicado 0,05 g de material vegetal fresco en frascos herméticos de vidrio marca Fido Bormioli Rocco de un litro de capacidad; la muestra se colocó en una canastilla de acero inoxidable perforado (Figura 5-1); el cual permite el intercambio de aire al interior del ambiente del frasco; este recipiente se cerró herméticamente para mantener la muestra a condiciones constantes de humedad. Posteriormente los frascos se introducen en un horno de convección natural BINDER modelo ED-53-UL, para la *Stevia rebaudiana* a 50 y 60 °C y la *Mentha spicata* a 40 y 50 °C y a condiciones ambientales¹ 20°C para ambos productos.

**Figura 5-1.:** Frasco porta muestra para determinación de la isotermas de sorción

¹Se tomó temperatura de 20 °C para encontrar la humedad en equilibrio asimilando condiciones de almacenamiento.

Cada muestra se pesó con una balanza OHAUS Pioneer con una sensibilidad de $\approx 0,0001\text{g}$ cada 4 días hasta que la variación de peso fuera de $\approx 0,0001\text{g}$; una vez se obtuvo el peso constante se llevó la muestra al horno con una temperatura de $103 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas [2] para obtener el contenido de humedad de la muestra. La humedad relativa al interior de cada frasco para las cuatro temperaturas en estudio se midió experimentalmente con un datalogger marca track-it datalogger; con el inverso de los datos de humedad relativa medidos mostrados en la Tabla 5-2 y los datos experimentales de la humedad en equilibrio expuestos en la Tabla 5-3 y la Tabla 5-6, se construyó las curvas experimentales de las isotermas de sorción para la *Stevia rebaudiana* y la *Mentha spicata*.

Tabla 5-2.: Humedad relativa medida de las soluciones salinas saturadas acuosas a cuatro temperaturas, para cuantificar la humedad en equilibrio.

Nombre	Formula Química	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Cloruro de Potasio	<i>KCL</i>	85 %	84 %	78 %	76 %
Cloruro de Sodio	<i>NaCL</i>	82 %	79 %	72 %	69 %
Nitrito de Sodio	<i>NaNO₂</i>	69 %	65 %	62 %	59 %
Nitrato de Magnesio	<i>Mg(NO₂)₂</i>	89 %	85 %	79 %	78 %
Carbonato de Potasio	<i>K₂CO₃</i>	49 %	49 %	46 %	46 %
Cloruro de Magnesio	<i>MgCl₂</i>	84 %	80 %	77 %	74 %
Acetato de Potasio	<i>CH₃COOK</i>	34 %	35 %	34 %	35 %
Cloruro Litio	<i>LiCl</i>	14 %	19 %	17 %	17 %

La estimación de los parámetros de los modelos teóricos se halló usando una regresión no lineal, la prueba de ajuste de bondad χ^2 y coeficiente de correlación R^2 se realizó mediante el programa estadístico SPSS de IBM Advanced Statistics versión 19.

5.2. Resultados

El conocimiento de la temperatura sobre las isotermas de sorción es de gran importancia dado que los alimentos están expuestos a variaciones de temperatura durante los procesos y el almacenamiento; en la descripción de la isoterma de sorción, la temperatura se debe mantener constante dado que esta afecta a la movilidad de las moléculas de agua y el equilibrio dinámico entre el vapor y la sorción en las fases [45]. A continuación se muestran los resultados

obtenidos experimentalmente y la modelación matemática de las isotermas de sorción para la *Stevia* (*Stevia rebaudiana*) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*).

5.2.1. Datos experimentales para la *Stevia rebaudiana* Bertoni

En la Tabla **5-3** se muestra la media de los datos obtenidos experimentalmente del contenido de humedad en equilibrio (CHe) de las isotermas de sorción para la *Stevia rebaudiana*, para las temperaturas de 20, 50 y 60 °C. En la Figura **5-2** se puede observar que la distribución de los datos tienden a describir una curva sigmoídea lo cual corresponde a una isoterma tipo 2 [70]; también se aprecia que la actividad de agua crece al aumentar la temperatura manteniendo el contenido de humedad constante; en general, el efecto de la temperatura en el aumento de la actividad de agua dejando constante el contenido humedad es mayor en las actividades de agua bajas a intermedias.

Tabla 5-3.: Datos promedio experimentales del contenido de humedad en equilibrio para la *Stevia Rebaudiana*.

20 °C		50 °C		60 °C	
Aw	CHe	Aw	CHe	Aw	CHe
0,14	0,0072	0,17	0,0068	0,17	0,0027
0,34	0,0591	0,34	0,0256	0,35	0,0155
0,49	0,0734	0,46	0,0558	0,45	0,0339
0,69	0,1588	0,62	0,1053	0,59	0,0907
0,82	0,1841	0,72	0,1619	0,69	0,1555
0,84	0,2262	0,77	0,2219	0,74	0,2145
0,85	0,2773	0,78	0,2541	0,76	0,2245
0,89	0,3469	0,79	0,2600	0,78	0,2478

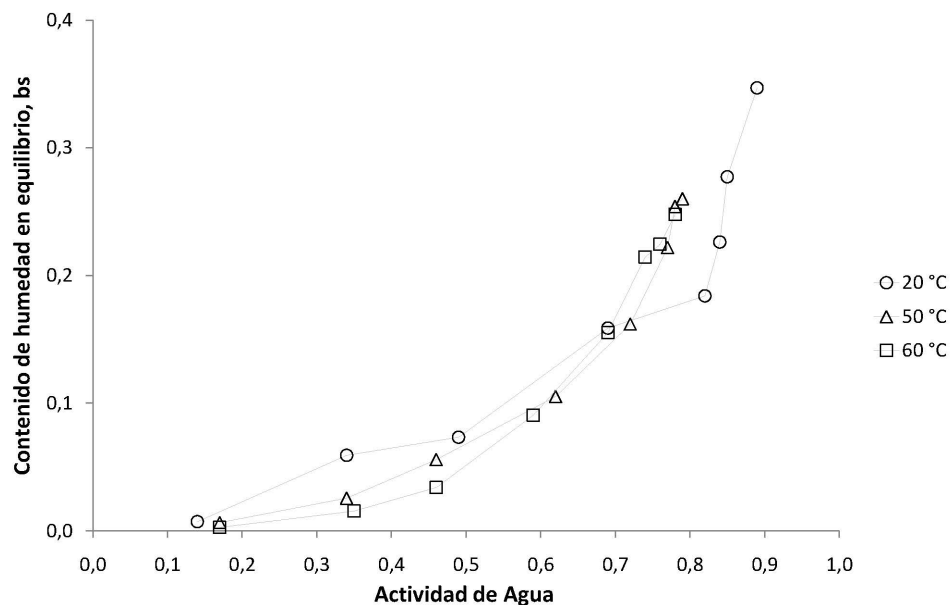


Figura 5-2.: Isoterma experimental *Stevia rebaudiana*.

En la figura 5-2 se observa que la actividad de agua en la *Stevia rebaudiana* a 20 °C va desde 0,14 hasta 0,89, a 50 °C oscila entre 0,17 a 0,79 y para 60 °C esta entre 0,17 a 0,78 respectivamente.

5.2.2. Ajustes a modelos matemáticos para la *Stevia rebaudiana* Bertoni

En la Tabla 5-4 se presentan las constantes obtenidas para cada modelo que se utilizó para determinar la ecuación que permita el mejor ajuste a los datos experimentales; en la Tabla A-1 del Anexo A se muestran los coeficientes de correlación R^2 y la prueba de Chi^2 con los que se evaluó la calidad de ajuste a modelo matemático para las isotermas de sorción a 20°C, 50°C y 60°C.

Tabla 5-4.: Valores de los parámetros estimados de los modelos de sorción para la *Stevia rebaudiana*.

Modelo	Contantes	20 °C	50 °C	60 °C
Oswin	A	0,075	0,059	0,056
$X_e = A(\frac{Aw}{1-Aw})^B$	B	0,714	1,124	1,215
Peleg	K1	1,603	3,389	44,532
$X_e = K_1Aw^{n_1} + K_2Aw^{n_2}$	n1	20,718	15,271	3,362
	K2	0,247	0,287	-43,912
	n2	1,480	2,155	3,662
Halsey	A	0,033	0,090	0,102
$X_e = (\frac{-A}{\ln Aw})^{\frac{1}{B}}$	B	1,174	0,718	0,666
BET	Xm	0,039	0,080	0,096
$X_e = \frac{AwX_mC}{(1-Aw)(1+(C-1)Aw)}$	C	9,187	0,583	0,410
GAB	Xm	0,256	0,055	0,044
$X_e = \frac{AwKC}{(1-KAw)((1-KAw)+(CKAw))}$	C	5,738	1,056	0,000
	K	0,980	1,054	0,852
Henderson	A	5.384	3.252	2.992
$X_e = (\frac{\ln(1-Aw)}{-a})^{(\frac{1}{B})}$	B	0.779	0.540	0,499

En la Tabla **5-5** se detalla el modelo Oswin con sus respectivas constantes en las temperaturas de 20, 50 y 60 °C para la *Stevia rebaudiana*.

Tabla 5-5.: Modelo Oswin de las isotermas para la *Stevia rebaudiana*.

Temperatura	Modelo Oswin
20 °C	$X_e = 0,075(\frac{Aw}{1-Aw})^{0,714}$
50 °C	$X_e = 0,059(\frac{Aw}{1-Aw})^{1,124}$
60 °C	$X_e = 0,056(\frac{Aw}{1-Aw})^{1,215}$

En la Figura **5-3** se muestra las isotermas que tienen mejor ajuste a los datos experimentales

por el modelo de Oswin para la *Stevia rebaudiana*.

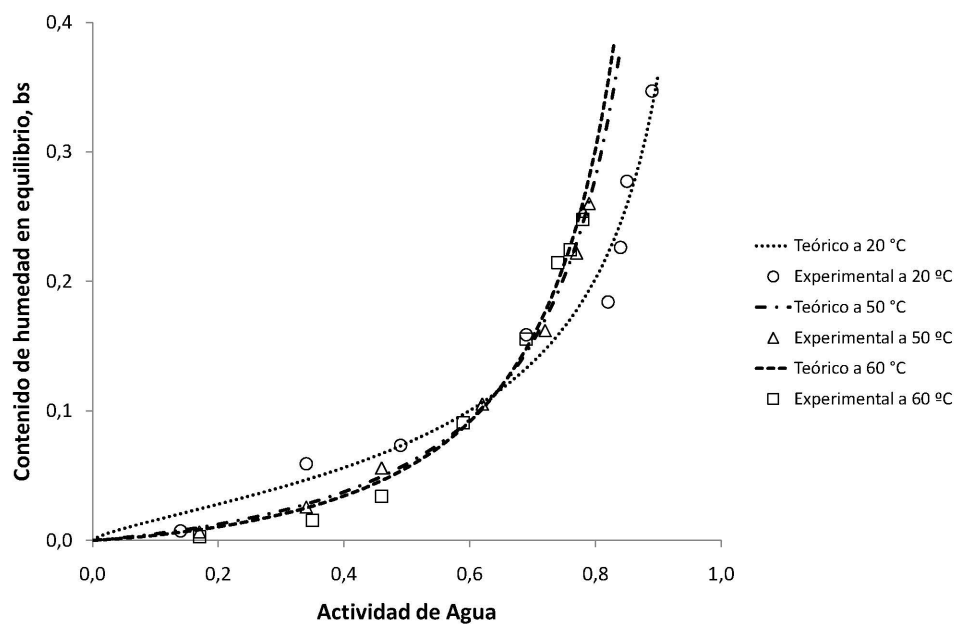


Figura 5-3.: Isoterma usando el modelo de Oswin a 20, 50 y 60 C° para *Stevia Rebaudiana*.

5.2.3. Datos experimentales para la *Mentha spicata*

El promedio de los datos experimentales del contenido de humedad en equilibrio (CH_e) para la *Mentha spicata* se muestran en la Tabla 5-6; las curvas experimentales de las isoterms de sorción para la *Mentha spicata* se muestra en la Figura 5-4, para las temperaturas de 20, 40 y 50 °C. Se nota que los datos describen una curva sigmoídea correspondiendo a una isoterma tipo 2 según la clasificación de Andrade [70].

Tabla 5-6.: Datos promedio experimentales del contenido de humedad en equilibrio para la *Mentha spicata*.

20 °C		40 °C		50 °C	
Aw	CHe	Aw	CHe	Aw	CHe
0,14	0,0354	0,19	0,0132	0,17	0,0048
0,34	0,0639	0,35	0,0355	0,34	0,0223
0,49	0,0870	0,49	0,0526	0,46	0,0337
0,69	0,1066	0,65	0,0780	0,62	0,0654
0,82	0,1541	0,79	0,1397	0,72	0,1088
0,84	0,2328	0,80	0,1878	0,77	0,1307
0,85	0,2414	0,84	0,2238	0,78	0,1433
0,89	0,2883	0,85	0,2318	0,79	0,1555

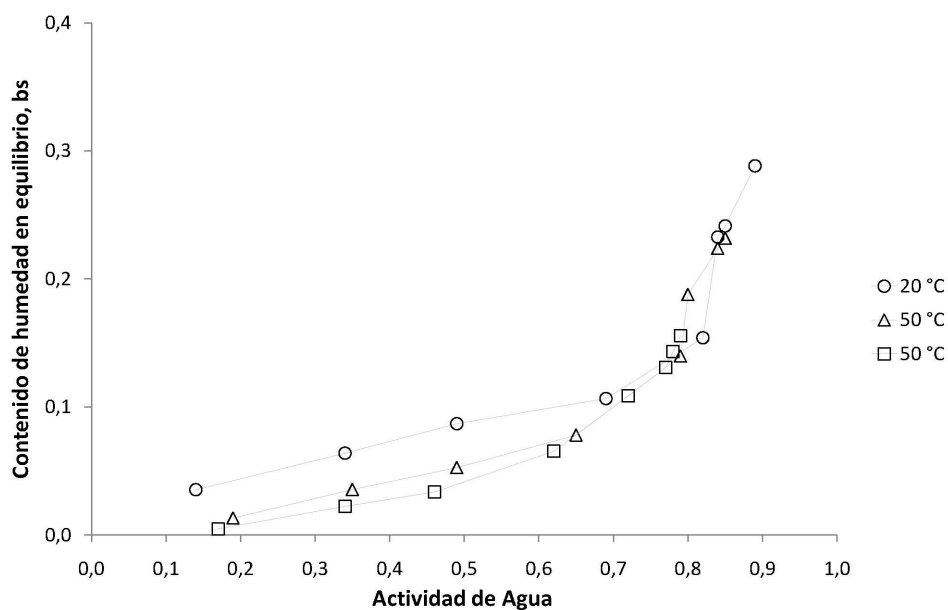


Figura 5-4.: Isoterma experimental *Mentha spicata*.

5.2.4. Ajustes a modelos matemáticos para la *Mentha spicata*

Las constantes obtenidas para la ecuación de cada modelo empleado se presentan en la Tabla 5-7; los coeficientes de correlación R^2 y la prueba de Chi^2 con los que se evaluó la calidad del ajuste a modelos matemáticos para las isotermas de sorción a 20°C, 40°C y 50°C se muestran en la Tabla A-2 del Anexo A.

Tabla 5-7.: Valores de las constantes de los modelos de desorción y los valores del coeficiente de correlación R^2 y prueba chi^2 , para *Mentha spicata*.

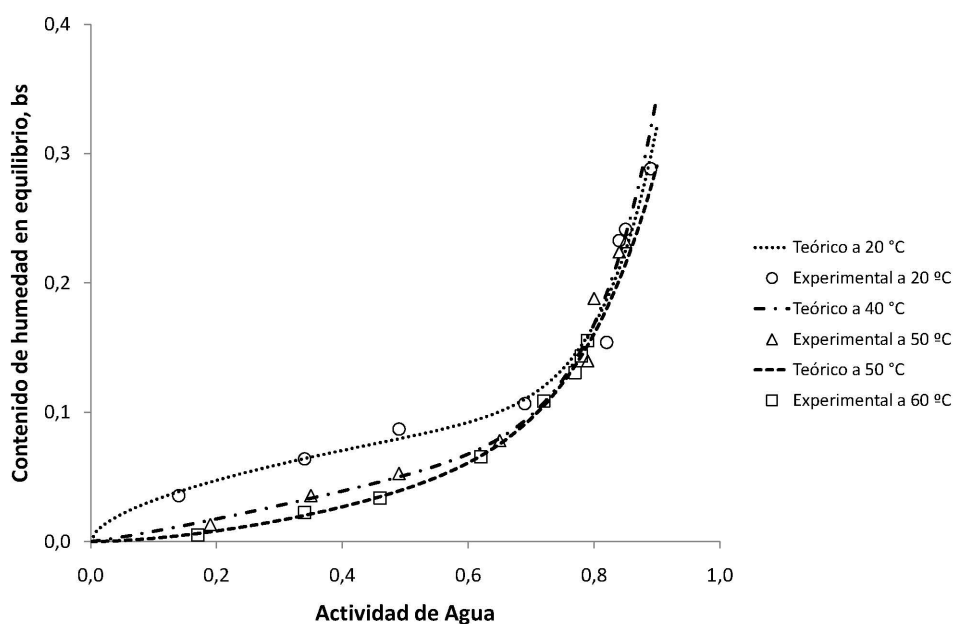
Modelo	Contantes	20 °C	40 °C	50 °C
Oswin	A	0,076	0,049	0,040
$X_e = A(\frac{Aw}{1-Aw})^B$	B	6,629	0,907	1,004
Peleg	K1	0,611	0,656	0,419
$X_e = K_1Aw^{n_1} + K_2Aw^{n_2}$	n1	10,210	9,354	7,755
	K2	0,119	0,112	0,126
	n2	0,573	1,155	1,700
Halsey	A	0,022	0,943	0,053
$X_e = (\frac{-A}{\ln Aw})^{\frac{1}{B}}$	B	1,326	0,923	0,796
BET	Xm	0,033	0,038	0,041
$X_e = \frac{AwX_mC}{(1-Aw)(1+(C-1)Aw)}$	C	13196724,59	1,885	0,979
GAB	Xm	5,511	0,095	0,038
$X_e = \frac{AwKC}{(1-KAw)((1-KAw)+(CKAw))}$	C	92,909	2,847	0,773
	K	0,979	1,020	0,974
Henderson	A	7.095	4.735	4.977
$X_e = (\frac{\ln(1-Aw)}{-a})^{(\frac{1}{B})}$	B	0.891	0.620	0,612

En la Tabla 5-8 se detalla el modelo Peleg con sus respectivas constantes en las temperaturas de 20, 40 y 50 °C para la *Mentha spicata*.

Tabla 5-8.: Modelo Pele de las isotermas para la *Mentha spicata*.

Temperatura	Modelo Peleg
20 °C	$X_e = 0,611Aw^{10,210} + 0,119Aw^{0,573}$
40 °C	$X_e = 0,656Aw^{9,354} + 0,112Aw^{1,155}$
50 °C	$X_e = 0,419Aw^{7,755} + 0,126Aw^{1,700}$

En la Figura 5-5 se muestran las isotermas que tienen mejor ajuste a los datos experimentales por el modelos de Peleg para la *Mentha spicata*.

**Figura 5-5.:** Isoterma teórica a 20, 40 y 50 C° para *Mentha spicata*.

6. Cinética del secado y ajustes a modelos matemáticos

6.1. Materiales y métodos

Los tratamientos establecidos para este estudio se definen en función a cuatro temperaturas de secado, (40°C, 50°C, 60°C y 70°C) para la *Stevia rebaudiana* y (30°C, 40°C, 50°C y 60°C) para la *Mentha spicata*. Doymaz, [36] reporta un rango de temperatura de secado en capa fina para hojas de menta entre 35 y 60 °C. Argyropoulos, [9] secó hojas de toronjil entre 30 y 70 °C. Cuervo, [31] usó temperaturas de secado para el toronjil entre 30 y 60 °C.

Los ensayos de secado se realizaron utilizando un horno de convección forzada marca BINDER modelo FD 240 (Figura 6-1); con flujo del aire axial y 19 intercambios de aire por hora, en el cual se dispuso muestras uniformes de 200 g en nueve bandejas perforadas tomando un espesor de 2,54 mm (1 pulgada o capa delgada); se tomó las bandejas 1, 2 y 3 para determinar las curvas de secado, las bandejas 4, 5 y 6 se llevó hasta peso constante para determinar el contenido de humedad en equilibrio (CH_e) y las bandejas 7, 8 y 9 se usó para medir los parámetros de calidad.

Se construyó las curvas de secado determinando la pérdida de peso de cada producto a través del tiempo. La medición se realizó a intervalos de diez minutos para la primera hora, cada media hora durante las siguientes tres horas y para el resto del ensayo se tomó el peso cada hora; cuando la muestra alcanzó un contenido de humedad aproximadamente del 10 % se detuvo el experimento. Los valores de la pérdida de peso de los productos se tomaron usando una balanza marca OHAUS Explorer con una sensibilidad de $0,001 \pm 2$ g. Para cada grupo de bandejas se obtuvo un valor promedio para hallar la pérdida de peso; este contenido de humedad (CH_{bh}) para cada intervalo de tiempo se calculo usando la ecuación (4-5); luego se halló el contenido de humedad en base seca (CH_{bs}) mediante la ecuacion (4-4); con el CH_{bs} y CH_e se estimó los valores de la razón de humedad con la ecuación (4-1).



Figura 6-1.: Horno de convección forzada modelo FD 240

Para determinar el contenido de humedad inicial y final promedio en cada tratamiento se llevó tres muestras de 25 g cada una al horno por 24 horas a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, según la metodología expuesta en la norma ASAE. 02 2003 [2]. El contenido de humedad durante el proceso de secado se controló usando una balanza determinadora de humedad marca OHAUS modelo MB45.

La estimación de los parámetros de los modelos teóricos se halló usando una regresión no lineal, la prueba de ajuste de bondad χ^2 y coeficiente de correlación R^2 se realizó mediante el programa estadístico SPSS de IBM Advanced Statistics versión 19.

6.2. Resultados

6.2.1. Datos experimentales para la *Stevia rebaudiana* Bertoni

En la Figura 6-2 se observan los datos experimentales para las temperaturas de secado de 40, 50, 60 y 70°C para la *Stevia rebaudiana*; en la Tabla 6-1 se muestran los valores del contenido de humedad inicial y final en base húmeda, los tiempos de secado, el contenido de humedad en equilibrio y los tiempos cuando se alcanzó el (CHEq) para las cuatro temperaturas de secado.

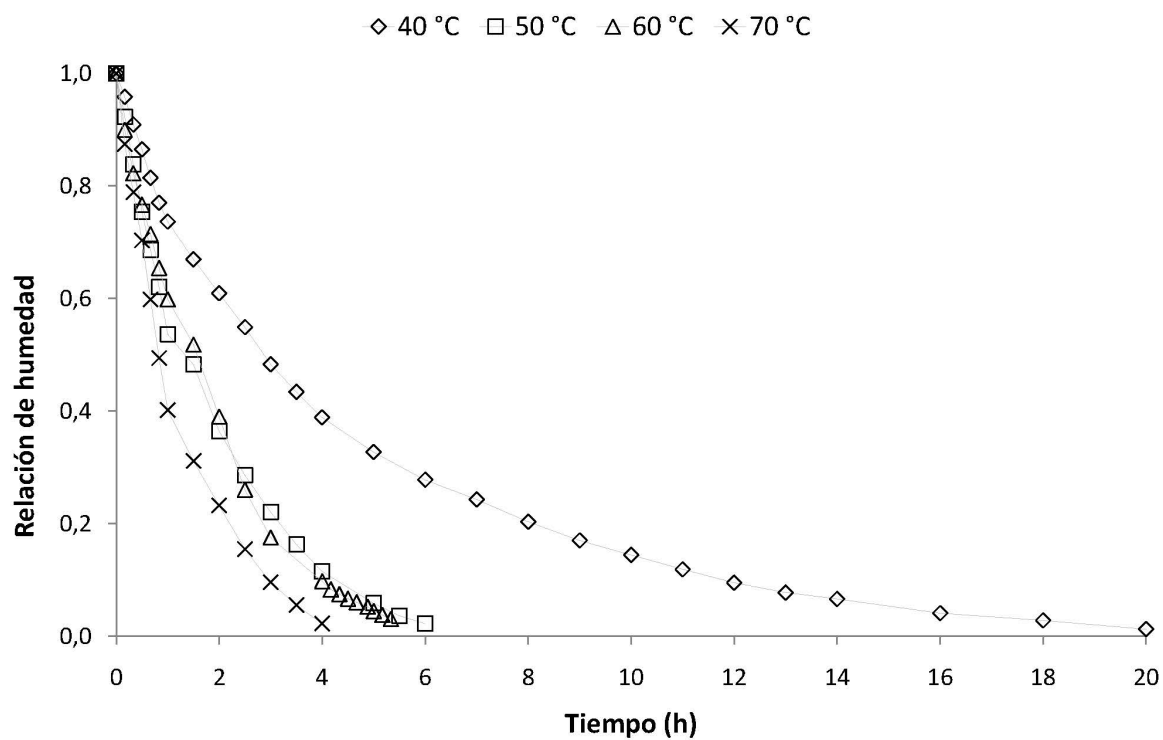


Figura 6-2.: Curva experimental de secado para la *Stevia rebaudiana*.

Tabla 6-1.: Contenidos de humedad y tiempos de secado para la *Stevia rebaudiana*

	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
CH inicial (bh, %)	73.61	74.86	69.24	70.84
CH final (bh, %)	10.01	8.49	9.56	8.12
Tiempo de secado (h)	20.0	6.0	5.3	4.0
CHeq (bh, %)	6.89	3.25	4.46	4.97
Tiempo hasta CHeq (h)	25.0	10.0	6.3	4.8

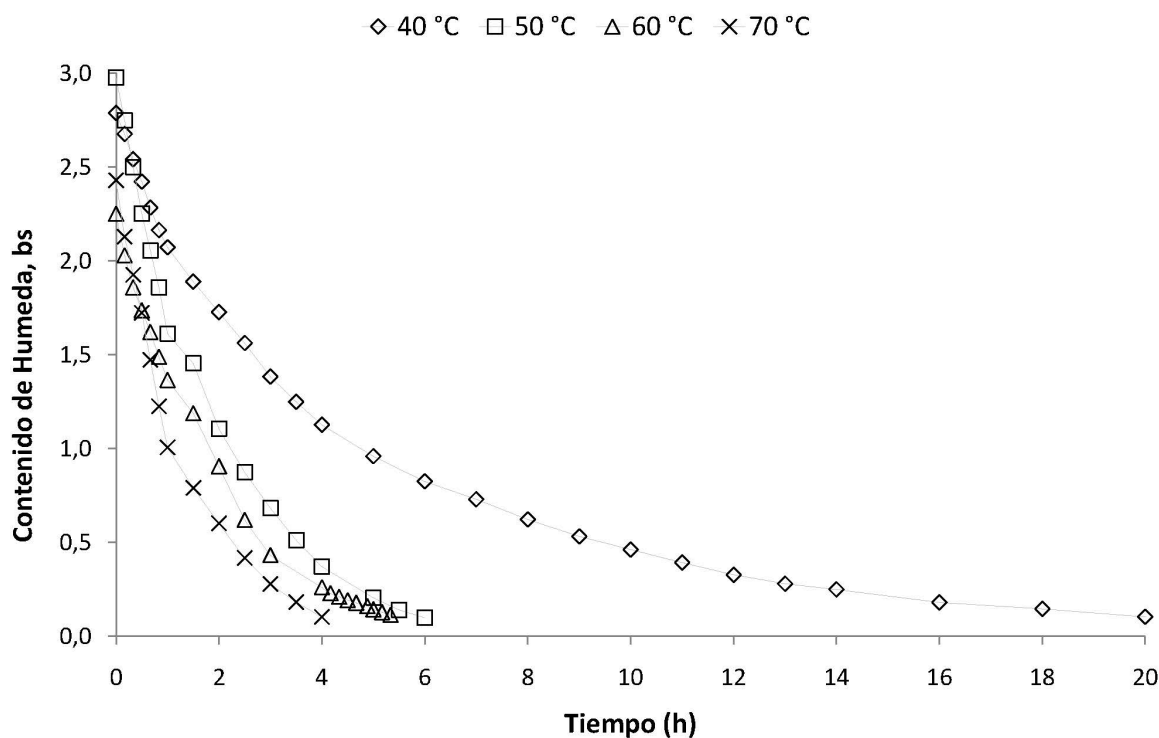


Figura 6-3.: Curva experimental de secado para la *Stevia rebaudiana*.

6.2.2. Ajustes a modelos matemáticos para la *Stevia rebaudiana* Bertoni

En la Tabla 6-2 se presentan los valores de las constantes de los modelos matemáticos teóricos empleados para probar el ajuste a los valores experimentales. Para cada modelo y cada temperatura de secado en la Tabla A-3 del Anexo A se presenta el valor de R^2 y el valor de la Chi^2 , considerando estos valores se seleccionó el modelo que mejor ajuste tuvo a los datos experimentales.

Tabla 6-2.: Parámetros estimados de los modelos matemáticos aplicados a las curvas de secado para *Stevia rebaudiana*.

Modelo	Constantes	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Lewis	k	0,226	0,533	0,535	0,792
$MR = e^{-kt}$					
Page	k	0,283	0,542	0,505	0,791
$MR = e^{-ht^y}$	y	0,848	0,972	1,079	1,008
Page modificado	k	0,226	0,532	0,531	0,793
$MR = e^{(-kt)^y}$	y	0,848	0,972	1,079	1,008
Henderson y Pabis	k	0,210	0,527	1,010	0,801
$MR = ae^{-kt}$	a	0,952	0,992	0,542	1,009
Logarítmico	a	0,930	0,504	1,063	1,008
$MR = ae^{-kt} + c$	k	0,233	1,004	0,438	0,802
	c	0,034	-0,017	-0,079	0,000
Dos términos	a	0,193	0,957	9,317	0,895
$MR = ae^{-k_0t} + be^{-k_1t}$	k0	1,056	0,507	0,305	0,757
	k1	0,814	0,054	0,290	0,118
	b	0,178	2,964	-8,336	1,351

En la Tabla **6-3** se detalla el modelo Logarítmico con sus respectivas constantes en las temperaturas de 40, 50, 60 y 70 °C para la *Stevia rebaudiana*.

Tabla 6-3.: Modelo Logarítmico de las curvas de secado para la *Stevia rebaudiana*.

Temperatura	Modelo Logarítmico
40 °C	$MR = 0,930e^{-0,233t} + 0,034$
50 °C	$MR = 0,504e^{-1,004t} - 0,017$
60 °C	$MR = 1,063e^{-0,438t} - 0,079$
70 °C	$MR = 1,008e^{-0,802t} + 0,0000$

En la Figura 6-4 se muestra las curvas de secado para las temperaturas de 40, 50, 60 y 70 °C usando el modelo Logarítmico para la *Stevia rebaudiana*.

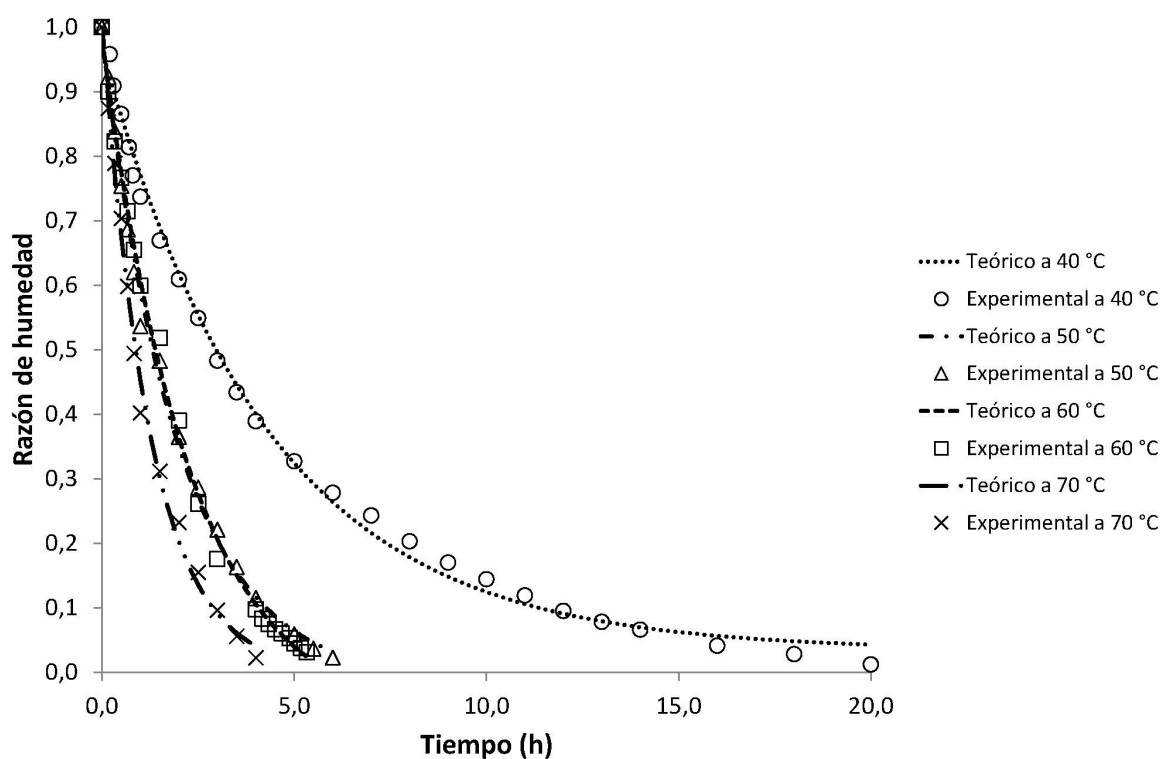


Figura 6-4.: Modelos Logarítmico para el secado de la *Stevia rebaudiana*.

6.2.3. Datos experimentales para la *Mentha spicata*

En la Tabla 6-4 se muestran los valores del contenido de humedad inicial y final en base húmeda, el tiempo de secado, la humedad en equilibrio y el tiempo cuando se llegó al (CHEq) para cada temperatura de secado.

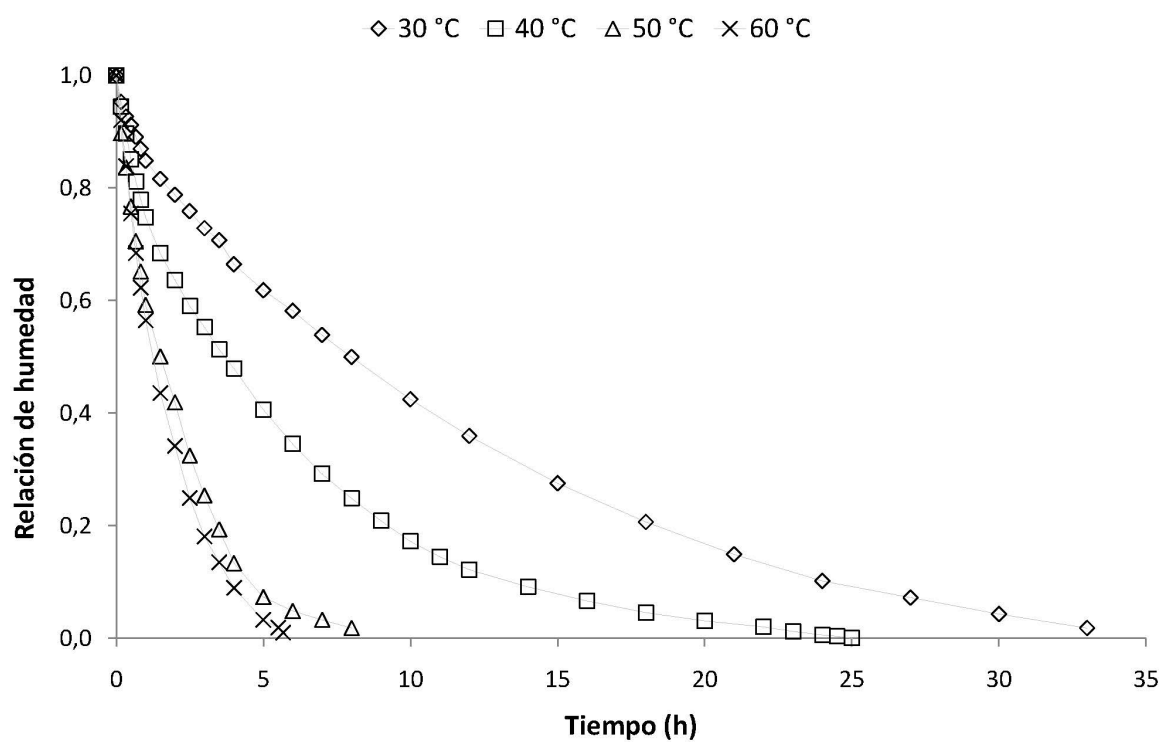


Figura 6-5.: Curva experimental de secado para la *Mentha spicata*.

Tabla 6-4.: Contenidos de humedad y tiempos de secado para la *Mentha spicata*

	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
CH inicial (bh %)	77.39	80.26	79.23	82.37
CH final (bh %)	9.43	9.56	9.31	11.38
Tiempo de secado (h)	33.0	25.0	8.0	5.7
CHeq (bh %)	7.79	7.04	4.60	4.78
Tiempo hasta CHeq (h)	48.0	32.0	9.5	6.5

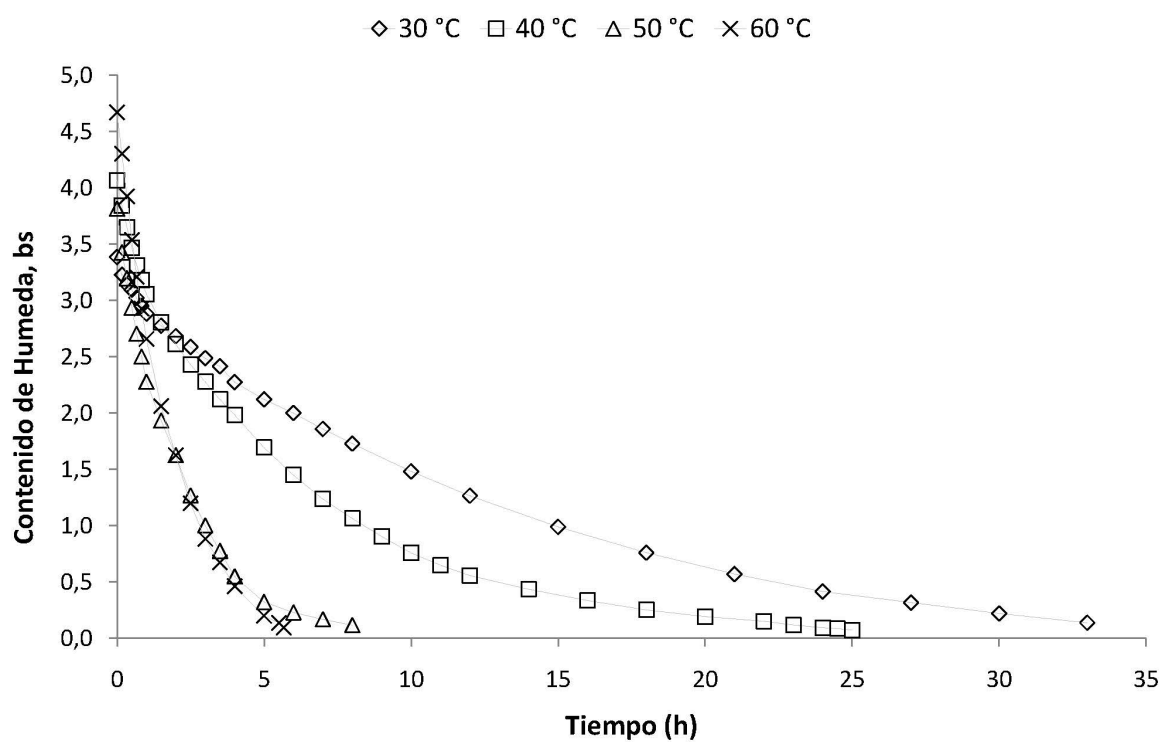


Figura 6-6.: Curva experimental de secado para la *Mentha spicata*.

6.2.4. Ajustes a modelos matemáticos para la *Mentha spicata*

Tabla 6-5.: Parámetros estimados de los modelos matemáticos aplicados a las curvas de secado para *Mentha spicata*.

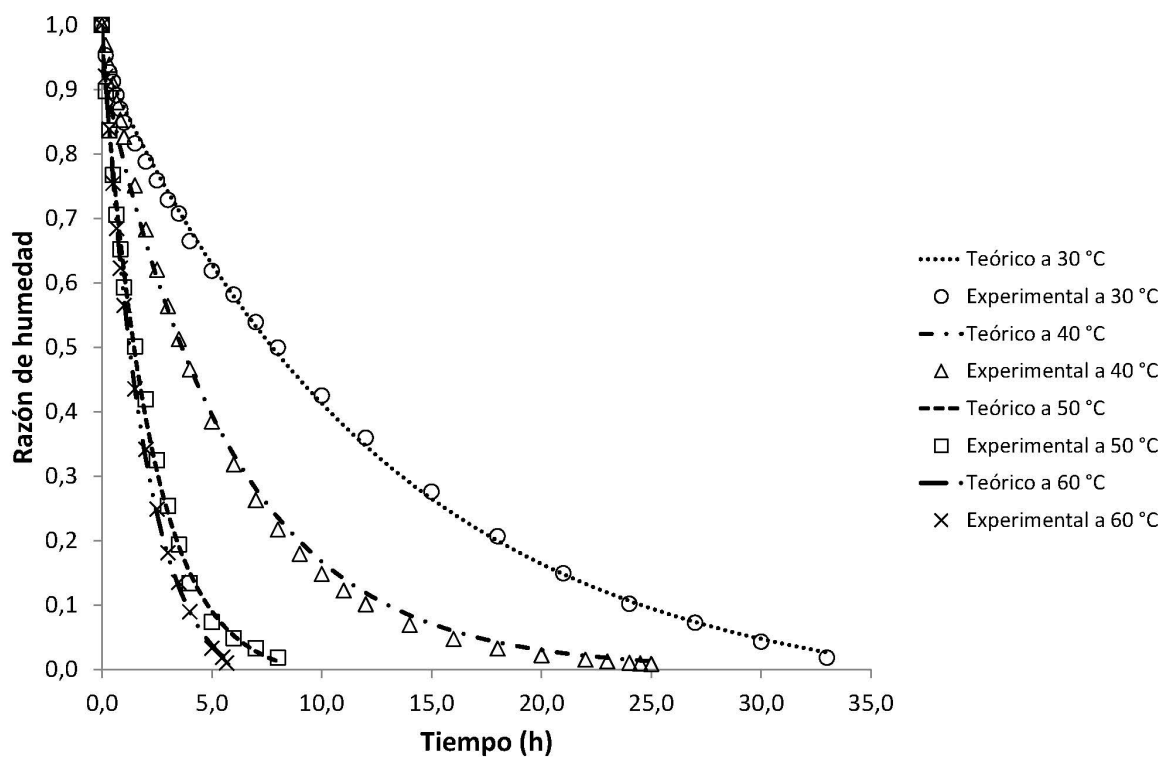
Modelo	Constantes	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Lewis	k	0,093	0,191	0,481	0,568
$MR = e^{-kt}$					
Page	k	0,118	0,250	0,496	0,557
$MR = e^{-ht^y}$	y	0,897	0,838	0,956	1,037
Page modificado	k	0,092	0,191	0,480	0,569
$MR = e^{(-kt)^y}$	y	0,897	0,838	0,956	1,037
Henderson y Pabis	k	0,086	0,934	0,466	0,577
$MR = ae^{-kt}$	a	0,953	0,172	0,979	1,011
Logarítmico	a	1,000	0,934	0,989	1,037
$MR = ae^{-kt} + c$	k	0,076	0,172	0,448	0,524
	c	-0,055	0,000	-0,015	-0,038
Dos términos	a	0,510	0,881	0,578	0,243
$MR = ae^{-k_0t} + be^{-k_1t}$	k0	0,086	0,160	0,466	0,677
	k1	0,443	2,607	0,400	0,768
	b	0,086	0,126	0,466	0,577

En la Tabla **6-6** se detalla el modelo Logarítmico con sus respectivas constantes en las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C para la *Mentha spicata*.

Tabla 6-6.: Modelo Logarítmico de las curvas de secado para la *Mentha spicata*.

Temperatura	Modelo Logarítmico
30 °C	$MR = 1,000e^{-0,076t} - 0,055$
40 °C	$MR = 0,934e^{-0,172t} + 0,000$
50 °C	$MR = 0,989e^{-0,448t} - 0,015$
60 °C	$MR = 1,037e^{-0,524t} - 0,0038$

En la Figura 6-7 se muestra las curvas de secado para las temperatura de 30, 40, 50 y 60 °C usando el modelo Logarítmico para le *Mentha spicata*.

**Figura 6-7.:** Modelo Logarítmico para el secado de la *Mentha spicata*.

7. Parámetros de calidad

7.1. Variación en el color

7.1.1. Materiales y métodos

Para determinar la variación de color se tomó quince muestras aleatorias del material vegetal al inicio en fresco y final seco; luego se estimó el valor promedio por cada tratamiento. El equipo de medición utilizado fue el colorímetro Konica Minolta CR400 (Figura 7-1), el equipo fue calibrado antes de hacer de las mediciones usando una placa de cerámica blanca como referencia. El colorímetro realizó la medición bajo el espacio de color CIE 1976($L^*a^*b^*$) o CIELAB. Para determinar las diferencias de color se siguió lo expuesto según la norma ASTM D2244-02 [77]. Las mediciones se realizaron dentro de una cámara con iluminación constante para garantizar que la medición del color se hiciera siempre en las mismas condiciones.



Figura 7-1.: Colorímetro Konica Minolta CR400.

7.1.2. Resultados

***Stevia rebaudiana* Bertoni**

La temperatura del aire de secado tiene un efecto significativo en el cambio de color de las hojas de *Stevia rebaudiana*, en la Tabla **7-1** se presentan los resultados promedio de la medición de color en el espacio CIELAB para las hojas en fresco y seco a 40, 50, 60 y 70 °C.

Tabla 7-1.: Resultados promedio en la escala de color CIELAB para la *Stevia rebaudiana* a diferentes temperaturas.

Temperatura	L*	a*	b*
Fresco	34,30	-8,98	12,46
Seco a 40 °C	39,68	-7,71	14,59
Fresco	33,48	-9,27	12,16
Seco a 50 °C	28,82	-1,97	8,02
Fresco	31,22	-8,85	10,68
Seco a 60 °C	39,97	-10,77	16,15
Fresco	32,34	41,34	-9,44
Seco a 70 °C	41,45	-11,12	16,92

Los cálculos en la diferencia de luminosidad, diferencia de total de color, diferencia en la saturación, diferencia del matiz y la diferencia del ángulo del tono para las diferentes temperaturas de secado de la *Stevia rebaudiana* se presentan en la tabla **7-2**. Se tomó como referencia el color medido de las hojas frescas al inicio de cada tratamiento; el color medido de las hojas secas se toma como el observado.

Tabla 7-2.: Diferencia de color para la *Stevia rebaudiana*

Temperatura	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔC^*	ΔH^*	Δh^*
40 °C	5,39	1,27	2,13	5,93	1,15	2,20	-7,93
50 °C	-4,66	7,30	-4,13	9,60	-7,02	4,58	-23,54
60 °C	8,76	-1,92	5,48	10,51	5,55	1,70	-5,95
70 °C	9,11	-1,68	5,51	10,78	5,44	1,90	-6,30

Donde:

ΔL^* : Diferencia de luminosidad

Δa^* : Diferencia de rojos a verdes

Δb^* : Diferencia de amarillos a verdes

ΔE^* : Diferencia de total de color

ΔC^* : Diferencia en la saturación o croma

ΔH^* : Diferencia del tono

Δh^* : Diferencia del ángulo del tono

En la gráfica **7-2** se observa los resultados en escala logarítmica de la variación de color con respecto a la temperatura de secado; se aprecia que el color de las hojas de *Stevia rebaudiana* se ve afectado significativamente durante el secado para las temperaturas de 60 y 70°C respectivamente.

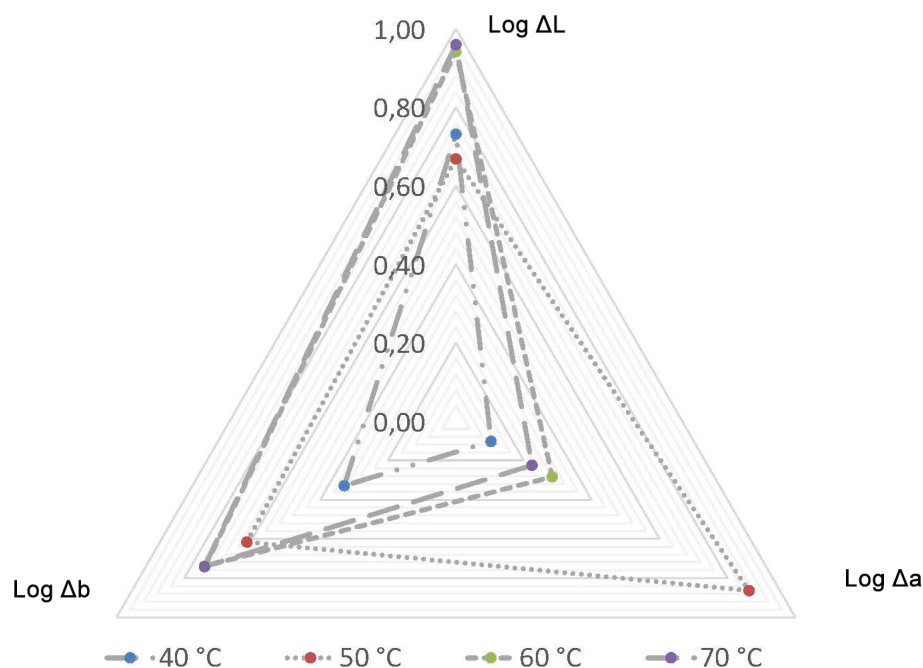


Figura 7-2.: Variación de color para *Stevia rebaudiana* seca a diferentes temperaturas

La diferencia de color obtenido entre la *Stevia rebaudiana* fresca y después de seco para cada tratamiento se puede evidenciar en la figura **7-3**; se puede observar que el mejor color lo presenta la *Stevia rebaudiana* seca a 40°C.

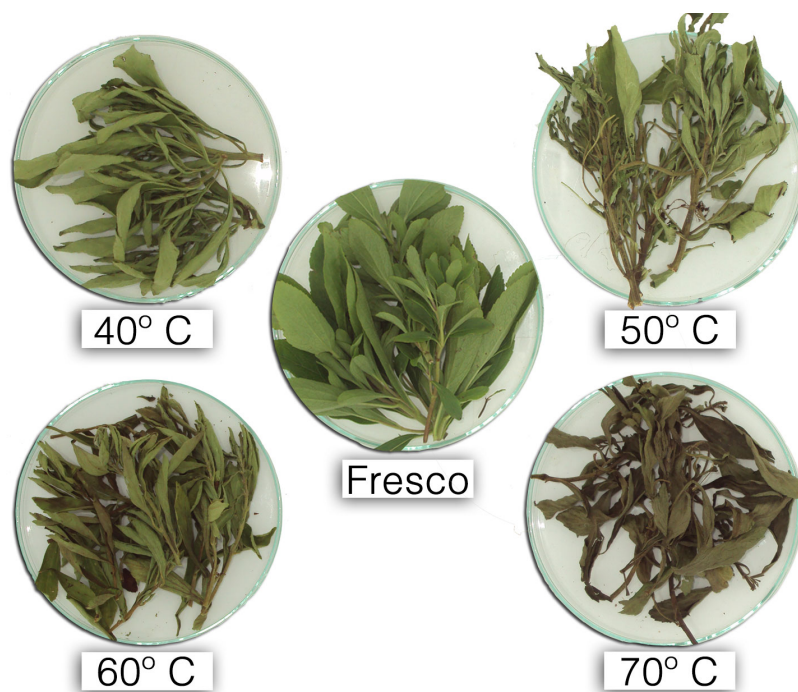


Figura 7-3.: Variación de color de la *Stevia rebaudia* según el tratamiento.

Mentha spicata

Los resultados promedio medidos en el espacio de color CIELAB para la *Mentha spicata* se muestran en la tabla **7-3** para las hojas frescas y secas a 30, 40, 50 y 60 °C.

Tabla 7-3.: Resultados promedio en la escala de color CIELAB para la *Mentha spicata* a diferentes temperaturas.

Temperatura	L*	a*	b*
Fresco	36,29	-12,69	15,22
Seco a 30 °C	35,29	-8,53	13,46
Fresco	33,18	-11,06	12,60
Seco a 40 °C	32,46	-6,31	11,30
Fresco	34,40	-10,72	13,12
Seco a 50 °C	30,60	-5,17	9,38
Fresco	34,00	-10,77	12,99
Seco a 60 °C	25,61	-1,75	6,78

Los cálculos en la diferencia de luminosidad, diferencia de total de color, diferencia en la saturación, diferencia del matiz y la diferencia del ángulo del tono para las diferentes temperaturas de secado de la *Mentha spicata* se presentan en la tabla 7-4. Se tomó como referencia el color medido de las hojas frescas al inicio de cada tratamiento; el color medido de las hojas secas se toma como el observado.

Tabla 7-4.: Diferencia de color para la *Mentha spicata*

Temperatura	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔC^*	ΔH^*	Δh^*
30 °C	-1,04	4,16	-1,77	4,64	-3,89	2,31	-3,89
40 °C	-0,72	4,75	-1,30	4,98	-3,82	3,10	-3,82
50 °C	-3,81	5,54	-3,74	7,69	-6,23	2,44	-6,23
60 °C	-8,40	9,02	-6,21	13,79	-9,87	4,74	-9,87

Los resultados en escala logarítmica de la variación de color con respecto a las diferentes temperaturas de secado se aprecia en la gráfica 7-4, se observa que al aumentar la temperatura de secado esta afecta directamente el color en las hojas de la *Mentha spicata*.

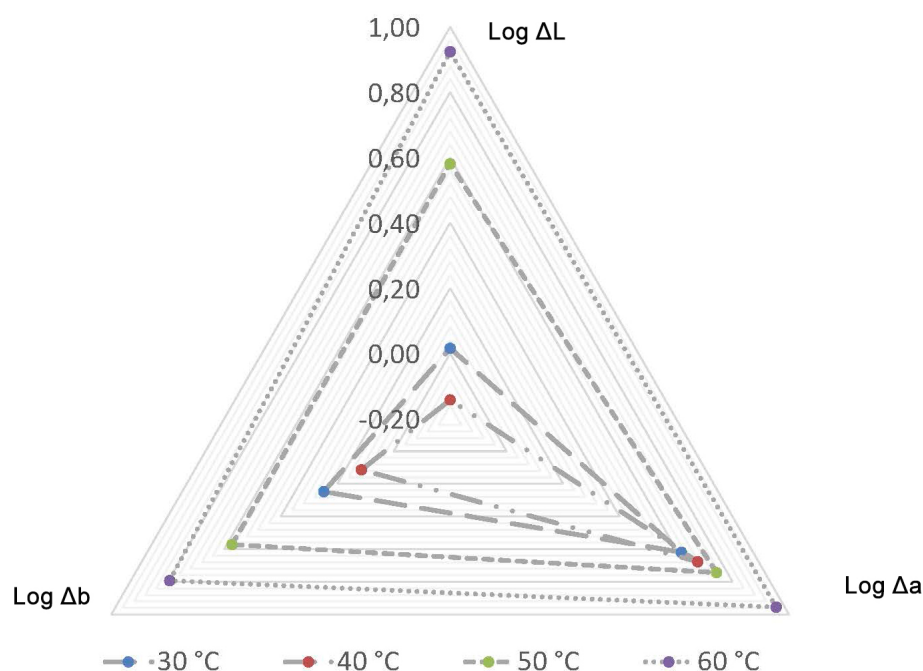


Figura 7-4.: Variación de color para *Mentha spicata* seca a diferentes temperaturas

En la figura 7-5 se observa la diferencia de color en fresco y en seco en cada tratamiento para la *Mentha spicata*; se puede evidenciar que hubo más pérdida de color para el tratamiento de 60 °C con respecto a la referencia.



Figura 7-5.: Variación de color de la *Mentha spicata* según el tratamiento.

7.2. Calidad microbiológica

7.2.1. Materiales y metodos

En el análisis microbiológico de las plantas aromáticas en estudio, se siguió la metodología propuesta por el manual de técnicas de análisis microbiológico de alimentos del INVIMA [46], en donde se recomienda usar los siguientes medios de cultivo y reactivos:

- Agar PDA (Patato Dextrose Agar) CM0139 marca OXOID
- Agar extracto de levadura glucosa Chloramphenicol marca SIGMA
- Agua de peptona marca Panreac, Cloruro de sodio marca Fermont al 99 %

El medio de cultivo PDA se preparó según la recomendación del fabricante de 39g por litro de agua destilada y se ajustó el pH de 3,5, el agua de peptonada se realizó al 0,1 % mezclando 8,5 g de peptona más 1 gramo de cloruro de sodio en un litro de agua destilada, se esterilizó en la autoclave a 121 °C por 15 minutos; una vez esterilizado el PDA se dejó enfriar a 45 °C y se le agregó 0,5g de cloranfenicol, se agitó por 3 min. Se llevó a la cámara de flujo laminar y se sirvió el medio en las cajas de Petri estériles, el medio de cultivo preparado se mantuvo refrigerado a 4°C por un tiempo máximo a 14 días.

Las muestras para microbiología se mantuvieron refrigeradas por un periodo máximo de 24 horas, dado que la siembra microbiológica se realizó al día siguiente que se efectuó el experimento de secado. Siguiendo el método del INVIMA, se tomaron 9 g de material vegetal que se introdujo en un erlenmeyer esteril junto con 99 ml de agua peptonada estéril y se agitó por 5 minutos, obteniendo así la primera dilución de 10^{-1} , posteriormente se tomó 1 ml y se transfirió a un tubo de ensayo estéril con 9 ml de agua peptonada estéril para obtener la segunda dilución de 10^{-2} , se repitió el mismo procedimiento para la dilución de 10^{-3} . Las diluciones preparadas se sembraron tomando 1 ml de cada dilución y transfiriendo a la caja de petri; la manera en que se mezcló el inóculo con el medio fue mover la caja de arriba hacia abajo 5 veces, rotar la 5 veces en sentido a las manecillas del reloj, mover la caja 5 veces en ángulo recto y rotar 5 veces en sentido contrario a las manecillas del reloj, se invirtió las cajas de petri y se llevaron a la incubadora. El conteo de colonias se realizó a las cajas cuya lectura era inferior a 150 unidades formadores de colonia (UFC), se usó la ecuación 4-11 para realizar el cálculo de mohos y levaduras por gramo.

Se hizo el respectivo control de esterilidad al medio de cultivo PDA y al agua peptonada 0.1 % encubando 1 caja de petri con PDA y otra con 1 ml agua peptonada la cual se mantuvo en la incubadora a 25 ± 2 °C por 7 días.

7.2.2. Resultados

***Stevia rebaudiana* Bertoni**

En la Figura 7-6 se observa los valores del porcentaje de reducción de la activada microbiana para la *Stevia rebaudiana*; luego de someterlo al proceso de secado se evidencia una disminución en la carga microbiana de mohos y levaduras del 22,6 %, 61,1 %, 66,7 % y 83,0 % para 40, 50, 60 y 70 °C respectivamente.

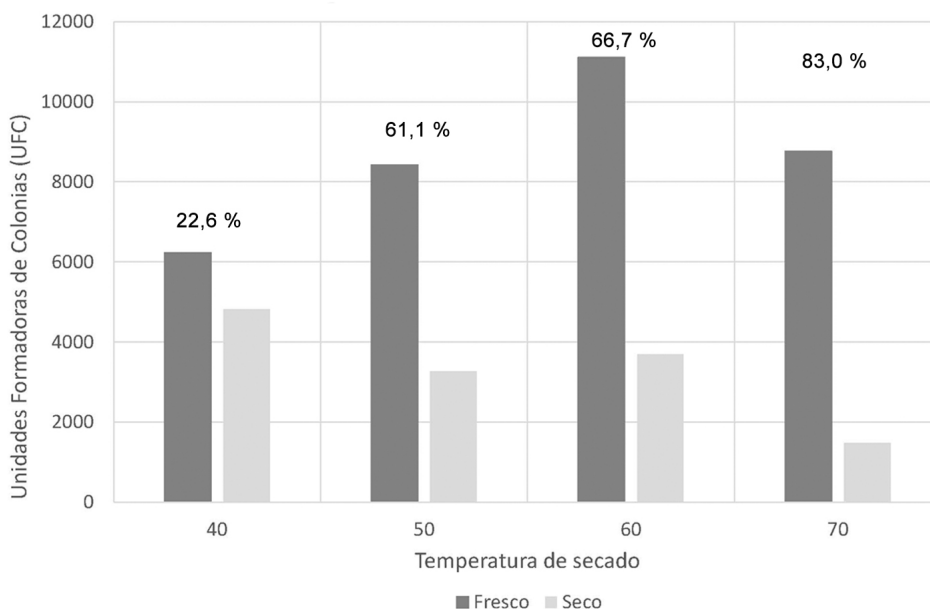


Figura 7-6.: Disminución de la carga microbiana para la *Stevia rebaudiana* seca a diferentes temperaturas

En la Tabla 7-5 se muestra los valores del recuento total en placa de mohos y levaduras para las hojas de *Stevia rebaudiana* fresca y seca a 40, 50, 60 y 70 °C. Se calcula un valor promedio de $8,63 \times 10^3$ UFC para las hojas de *Stevia rebaudiana* fresca y $3,32 \times 10^3$ UFC para hojas secas, se deduce una reducción promedio en la carga microbiana del 61,1 % en las cuatro temperaturas de secado.

Tabla 7-5.: Conteo UFC para la *Stevia rebaudiana*

	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
Fresco	$6,23 \times 10^3$	$8,42 \times 10^3$	$1,11 \times 10^4$	$8,76 \times 10^3$
Seco	$4,82 \times 10^3$	$3,27 \times 10^3$	$3,70 \times 10^3$	$1,49 \times 10^3$
Reducción	22.6 %	61.1 %	66.7 %	83.0 %

Mentha spicata

En la Figura 7-7 se muestran los valores del porcentaje de reducción de la activada microbiana para la *Mentha spicata*; luego de someterlo al proceso de secado se evidencia una

disminución en la carga microbiana de mohos y levaduras del 67,6 %, 70,6 % y 97,5 % para 40, 50 y 60 °C respectivamente; con respecto a la temperatura de secado 30 °C hay un aumento del 20,4 % en la carga microbiana de mohos y levaduras.

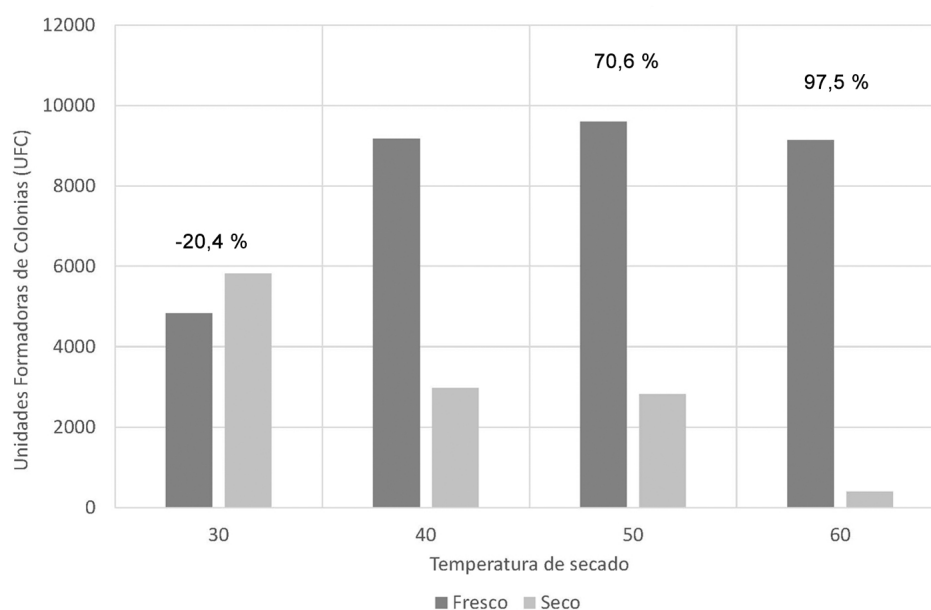


Figura 7-7.: Disminución de la carga microbiana para la *Mentha spicata* seca a diferentes temperaturas

Los valores del recuento total en placa de mohos y levaduras para las hojas de *Mentha spicata* fresca y seca a 40, 50 y 60 °C se muestran en la Tabla 7-6. Se calcula un valor promedio de $6,30 \times 10^3$ UFC para las hojas fresca y $2,06 \times 10^3$ UFC en las hojas secas de *Mentha spicata*, se deduce una reducción promedio en la carga microbiana del 77,8 % en las tres temperaturas de secado. Se excluye del calculo del promedio la temperatura de secado a 30 °C por presentar aumento en el conteo de UFC.

Tabla 7-6.: Conteo UFC para la *Mentha spicata*

	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Fresco	$4,83 \times 10^3$	$9,17 \times 10^3$	$9,60 \times 10^3$	$9,14 \times 10^3$
Seco	$5,82 \times 10^3$	$2,97 \times 10^3$	$2,82 \times 10^3$	$3,94 \times 10^2$
Reducción	-20.4 %	67.6 %	70.6 %	95.7 %

7.3. Actividad de agua

7.3.1. Materiales y métodos

La medición de la actividad de agua para la *Stevia rebaudiana* y la *Mentha spicata* en fresco y seco se realizó a través del HygroLab Rotronic (Figura 7-8)¹. Programando el equipo con las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente del laboratorio, este viene equipado con un algoritmo psicrométrico que le permite calcular todas las otras condiciones del aire. El HygroLab cuenta con tres modos de cálculo, Standar Mode, que toma datos hasta que los valores coinciden con la humedad relativa del aire, puede tomar hasta 24 horas; AwE Mode, que establece intervalos de estabilidad en intervalos de tiempo y AwQuick Mode, que toma valores durante un periodo de tiempo establecido y luego mediante modelos matemáticos predice el valor al que llegaría para el equilibrio. En este caso se usó el modo AwQuick en donde se le ajustó al programa el tiempo de toma de datos de 10 minutos. Una vez calibrado el equipo se introdujo tres muestras de hojas y tallos de $\approx 1\text{g}$ en fresco y en seco en el porta muestras; transcurrido el tiempo de toma de datos el equipo indicó la medida de la actividad de agua.



Figura 7-8.: HygroLab Rotronic usado para medir la actividad de agua

7.3.2. Resultados

Stevia rebaudiana Berton

Los valores promedio medidos de actividad de agua para fresco y seco se presentan en la Tabla 7-7, se deduce un valor medio para el material fresco de los cuatro tratamientos de 0,964 y de 0,547 para el seco; se infiere una reducción promedio del 43,3 % en la actividad de

¹Imagen tomada de: www.superiorvalueproducts.com

agua. Para las temperaturas de secado 40, 50, 60 y 70 °C se midió una actividad de agua de 0,525, 0,534, 0,581 y 0,548 respectivamente; se evidencia que la actividad acuosa se mantuvo por debajo de 0,6 en todas las temperaturas de secado.

Tabla 7-7.: Actividad de agua para la *Stevia rebaudiana* seca a diferentes temperaturas

	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
Fresco	0,964	0,961	0,960	0,971
Seco	0,525	0,534	0,581	0,548
Disminución	45,5 %	44,4 %	39,5 %	43,6 %

En la Figura 7-9 se observan los porcentajes de reducción de la actividad de agua para la *Stevia rebaudiana* luego de ser sometido al proceso de secado, se nota una disminución del 45,5 %, 44,4 %, 39,5 % y 43,6 % para 40, 50, 60 y 70 °C respectivamente.

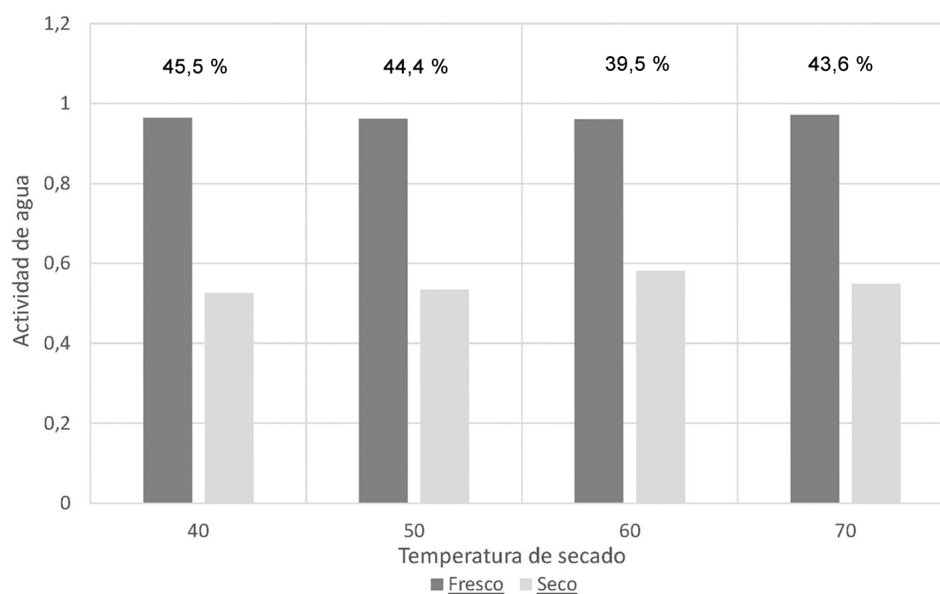


Figura 7-9.: Actividad de agua para la *Stevia rebaudiana*

Mentha spicata

En la Tabla 7-8 se muestra la media de los valores de la actividad de agua para el material fresco y seco de la *Mentha spicata*, el valor promedio en fresco es de 0.973 y en seco 0,544 para las temperaturas de 40, 50 y 60 °C, el porcentaje de promedio de reducción es del 44,1 % en las tres temperaturas; se evidencia que la actividad de agua para el tratamiento de 30 °C tiene un valor de 0.633 que es mayor al de los otros tratamientos de 40, 50 y 60 °C, a quienes se le estimo una actividad de agua de 0,559, 0,563 y 0,510 respectivamente.

Tabla 7-8.: Actividad de agua para la *Mentha spicata*

	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Fresco	0,966	0,961	0,976	0,981
Seco	0,633	0,559	0,563	0,510
Disminución	34,5 %	41,8 %	42,3 %	48,0 %

Los porcentajes de reducción de la actividad de agua para la *Mentha spicata* se presentan en la Figura 7-8; se evidencia una reducción de la actividad agua del 34.5 %, 41.8 %, 42.3 % y 48.0 % para 30 °C, 40 °C, 50 °C y 60 °C respectivamente.

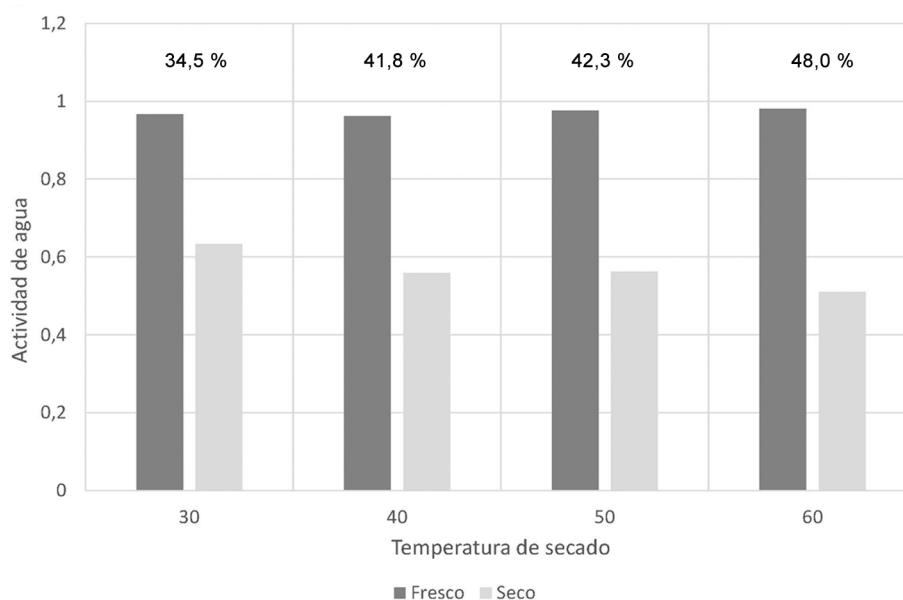


Figura 7-10.: Actividad de agua para la *Mentha spicata* seca a diferentes temperaturas

7.4. Contenido de aceites esenciales

7.4.1. Materiales y métodos

Destilación de aceite volátil por hidrodestilación.

Para determinar el contenido de aceites esenciales en la *Mentha spicata* se realizó la extracción al inicio en fresco y final seco, siguiendo lo expuesto en la norma NTC2686 [24] y el método de referencia expuesto en Deutsches Arzneibuch [61] con los siguientes ajustes: para la destilación en fresco se tomó una muestras de 40 g del material que se dispusieron en un matraz de vidrio junto con 600 ml de agua destilada y se añadió 3 perlas de porcelana para regular la ebullición; para la destilación en seco se empleó 20 g de material y se añadió 300 ml de agua destilada. El montaje realizado se puede observar en la Figura 7-11; cada ensayo de destilación se realizó por triplicado para obtener un valor promedio en el contenido de aceite esencial.



Figura 7-11.: Montaje por hidrodestilación en fresco y seco.

Una vez preparadas las muestras se acopló el matraz al destilador y se conectó al sistema de condensado, por el brazo lateral K del destilador Figura 7-12 se añadió 0,5 ml de Xileno con una pipeta pasteur; se reguló la recirculación de agua con la válvula de tres vías a una tasa de destilación constante a 2 ml o 3 ml por minuto. Se encendió el control de temperatura conectado al manto que calienta el matraz a temperatura de ebullición, garantizando una correcta condensación durante cuatro horas, transcurrido este tiempo se apaga el sistema

y se deja enfriar por 10 minutos para detener el calentamiento y la condensación, dejando que estabilizara el sistema, posteriormente se lee el volumen de aceite esencial incluyendo el Xileno en la escala del tubo graduado del destilador. El aceite esencial junto con el xileno se recogió en un tubo de ensayo, se tapó y se mantuvo en refrigeración para evitar la pérdida de los compuestos volátiles, para posteriormente llevarlo a la cromatografía de gases - espectrometría de masas (GS-MS).

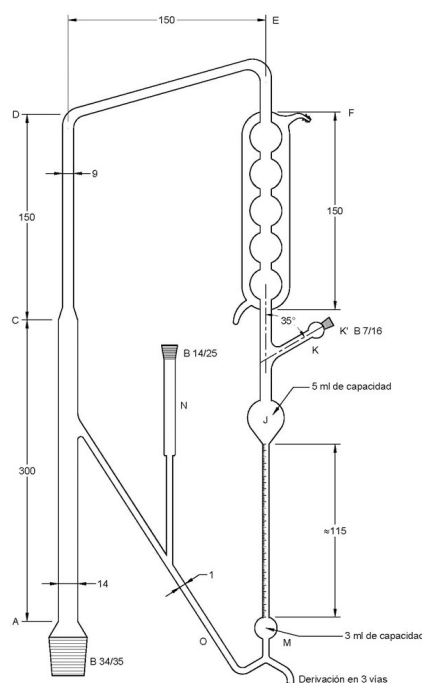


Figura 7-12.: Colector de destilación. Distancia en mm.

Transcurrida la destilación y con la lectura obtenida se empleó la ecuación (4-6) para calcular el contenido de aceite volátil expresado en mililitros por cada 100 g de producto seco.

7.4.2. Resultados

Stevia rebaudiana Bertoni

Para la *Stevia rebaudiana* de acuerdo al método de hidrodestilación que se describió anteriormente no se obtuvo ningún resultado en la extracción de los volátiles. Se empleó otros métodos de extracción como arrastre por vapor y micro extracción por fase sólida y no se obtuvo resultado alguno.

Mentha spicata

El comportamiento en los aceites esenciales del material vegetal empleado en la presente investigación mostró que a mayor temperatura de secado se redujo el contenido de aceites esenciales como se muestra en la Tabla 7-9. Se calcula un valor promedio para la *Mentha spicata* fresca de $1,29 \frac{ml}{100grbs}$ y de $0,73 \frac{ml}{100grbs}$, el porcentaje de promedio de reducción es del 43,8 % para las cuatro temperaturas.

Tabla 7-9.: Contenido de aceite esencial de *Mentha spicata* ($\frac{ml}{100grbs}$)

	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Fresco	1,24	1,11	1,39	1,43
Seco	0,78	0,77	0,72	0,64
Perdida	37,1 %	30,3 %	48,7 %	55,3 %

El porcentaje de reducción del aceite esencial de la *Mentha spicata* se presenta en la Figura 7-13, se aprecia en las temperaturas de secado de 30, 40, 50 y 60 C presenta una disminución del 37,1 %, 30,3 %, 48,7 % y 55,3 % respectivamente.

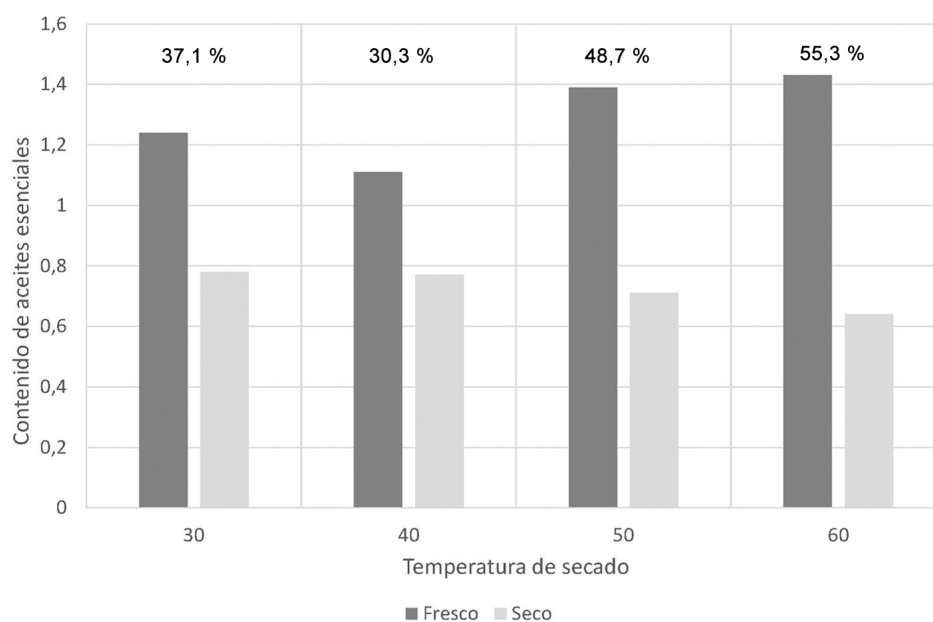


Figura 7-13.: Porcentaje de pérdida de aceite esencial de *Mentha spicata* seca a diferentes temperaturas

7.5. Cromatografía de gases - espectrometría de masas (GS-MS)

7.5.1. Materiales y métodos

El análisis de cromatografía de gases - espectrometría de masas (GS-MS) se realizó con un cromatógrafo de marca Shimadzu modelo GCMS-QP5050A, equipado con una columna capilar DB-5 de (30m x 0,32mm x 0,25µm), un detector de masa Split 1-10, bajo las siguientes condiciones: se usó como gas para la fase móvil Helio a un flujo de 1,2 ml/min, la inyección de la muestra 1µl, la temperatura del inyector 250 °C, la temperatura del detector fue de 250 °C, la temperatura del horno se programó a 50 °C x 2 min, 6 °C x min hasta 250 °C, el enfriamiento por 5 min.

A la muestra de aceite esencial de *Mentha spicata* se le agregó 1 g de sulfato de sodio anhídrido para eliminar las trazas de humedad, se extrajo 40 µl de aceite esencial que se diluyeron en 0,5 ml de éter y se envasaron en un vial sellado que se mantuvo en refrigeración hasta su posterior análisis.

La composición porcentual de los aceites esenciales se calculó usando la ecuación 7-1, comparando sus índices de retención con respecto a un hidrocarburo (C9 - C17) de mezcla estándar según la Tabla 7-10; la identificación de los compuestos del aceite esencial de *Mentha spicata* se realizó mediante la comparación de los espectros con datos publicados en la literatura y la biblioteca incluida en el equipo.

$$IR = \left| \frac{TR_{C_n} - TR_m}{TR_{C_{n+1}} - TR_{C_n}} \right| * 100 - IR_h \quad (7-1)$$

Donde:

IR : Índice de retención del compuesto

TR_{C_n} : Tiempo de retención del carbono C_n

$TR_{C_{n+1}}$: Tiempo de retención del carbono C_{n+1}

TR_m : Tiempo de retención de la muestra

IR_h : Índice de retención del hidrocarburo

Tabla 7-10.: Indices de retención de un hidrocarburo C9 - C17

IR_h	No. Carbonos	TR_{C_n}
900	C9	6.015
1000	C10	8.566
1100	C11	11.241
1200	C12	13.850
1300	C13	16.338
1400	C14	18.689
1500	C15	20.914
1600	C16	23.019
1700	C17	25.015

7.5.2. Resultados

Stevia rebaudiana Bertoni

Para la *Stevia rebaudiana*, no se realizó este análisis en el laboratorio dado que no se obtuvo ningún resultado en la extracción de volátiles por el método planteado en este trabajo.

Mentha spicata

En la Tabla **7-11** se muestran los principales compuestos del aceite esencial de la *Mentha spicata*. Se observa que la Carvona y el Limonene son los principales componentes del aceite esencial de la *Mentha spicata*.

Tabla 7-11.: Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* en fresco y Seco a 40 °C

Nombre	Fresco				Seco			
	Pico	TR	IR	%A	Pico	TR	IR	%A
β -Mirceno	8	8,377	993	5,233	8	8,455	996	2,313
Limonene	9	9,413	1032	10,528	9	9,541	1036	5,521
1,8-Cineol	10	9,505	1035	6,352	10	9,615	1039	2,734
β -Ocimeno	11	9,618	1039	2,993	11	9,696	1942	1,497
P-Menthe-8-ol	14	13,944	1204	4,618	13	14,015	1207	2,038
Carvona	17	15,331	1260	35,928	16	15,623	1271	30,13
Cariofileno	23	19,352	1430	3,843	26	19,444	1434	5,24
γ -Cadileno	29	20,745	1492	6,080	33	20,858	1497	7,872

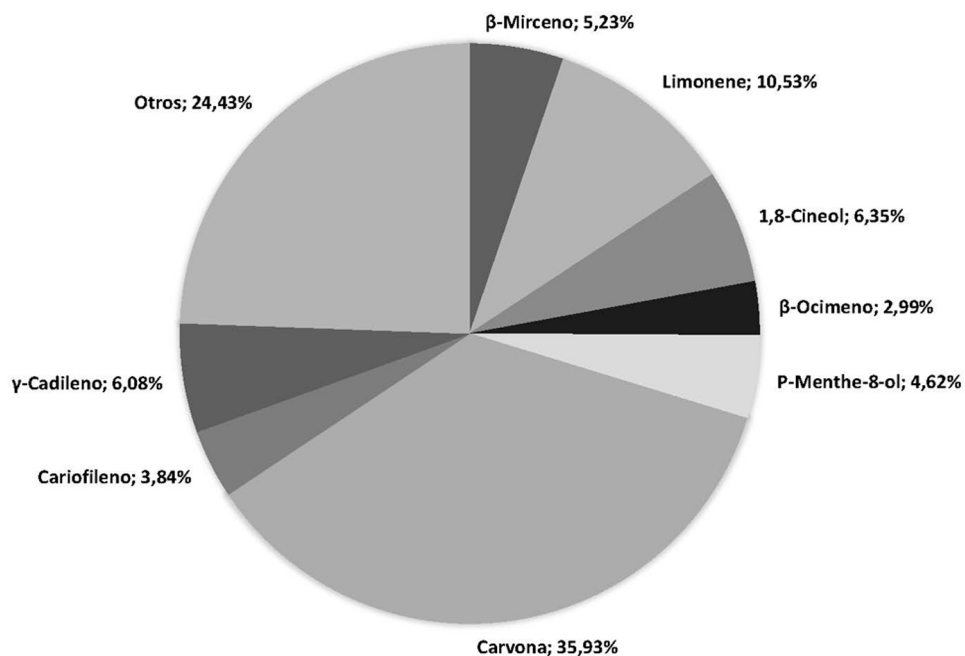


Figura 7-14.: Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* en fresco para secar a 40 °C

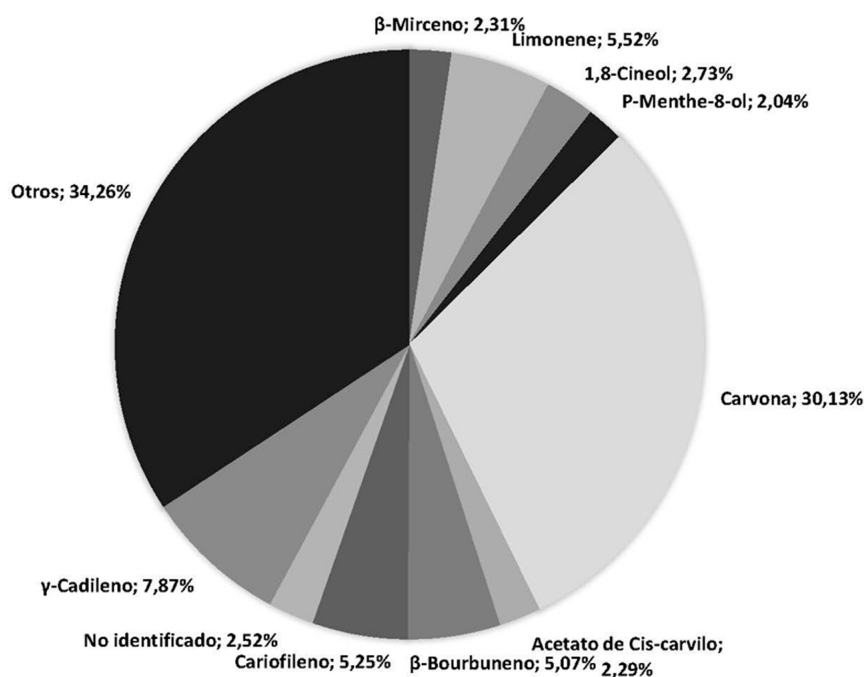


Figura 7-15.: Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* seca a 40 °C

Los compuestos del aceite esencial de la *Mentha spicata* para el material fresco que se sometió al secado a 50 °C se presentan en la Tabla 7-12. En el Anexo B se muestran los cromatogramas para fresco y seco de cada tratamiento junto con las tablas con la identificación de los compuestos.

Tabla 7-12.: Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* en Fresco y Seco a 50 °C

Nombre	Fresco				Seco			
	Pico	TR	IR	%A	Pico	TR	IR	%A
β-Mirceno	5	8,425	994	2,491	8	8,398	993	2,064
Limonene	6	9,478	1034	9,753	10	9,472	1034	6,943
1,8-Cineol	7	9,557	1037	3,891	11	9,541	1036	2,444
β-Ocimeno	8	9,666	1041	2,636	12	9,636	1040	1,557
P-Menthe-8-ol	12	14,011	1206	4,518	18	13,973	1205	2,986
Carvona	14	15,502	1266	38,714	20	15,493	1266	34,677
Cariofileno	23	19,413	1433	3,104	31	19,380	1431	3,499
γ-Cadileno	28	20,809	1495	5,974	35	20,771	1494	6,100

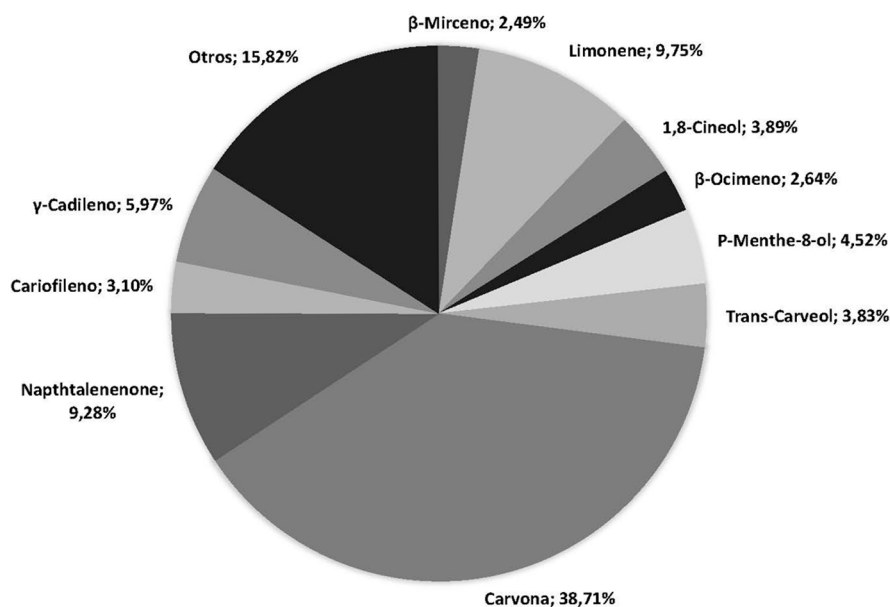


Figura 7-16.: Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* en fresco para secar a 50 °C

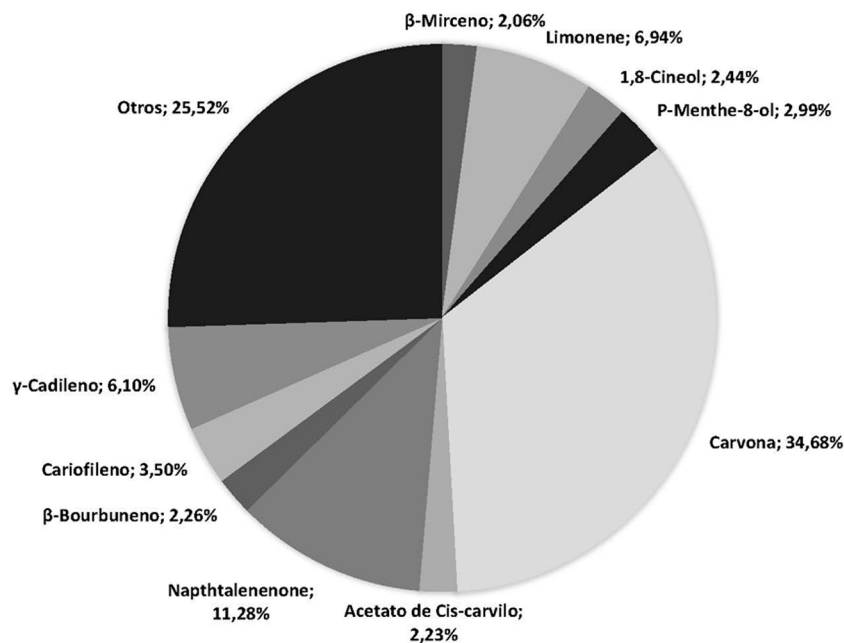


Figura 7-17.: Principales componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* seca a 50 °C

8. Análisis de resultados

Al observar los valores de R^2 y Chi^2 de la Tabla **A-1** del Anexo A, se determinó que el mejor ajuste lo presentó el modelo de Oswin a los datos experimentales obtenidos a 20, 50 y 60 °C, con un coeficiente R^2 de 0,983, 0,998 y 0,995 para las tres temperaturas y una Chi^2 de 0,027, 0,003 y 0,014 para 20, 50 y 60 °C respectivamente; por lo cual se puede concluir que el Oswin estima la humedad en equilibrio con mayor grado de aproximación.

En la Figura **5-3** se observa que existe un cruce en las curvas, esto es debido a que en altas temperaturas algunos solutos se disuelven, lo cual concuerda con lo afirmado por Barbosa [45]; este cruce se presenta cuando el valor de la actividad de agua está por encima 0,6 con la temperatura de 60 °C. Otra posible explicación a este fenómeno sería que coincide con el hecho de que algunos mohos y levaduras comienzan a desarrollarse cuando la actividad agua es superior a 0,6; esta presencia de mohos y levaduras pudieron afectar las mediciones en las muestras.

Al apreciar los valores de R^2 y Chi^2 de la Tabla **A-2** del Anexo A, se encontró que el mejor ajuste a los datos experimentales obtenidos para 20, 50 y 60 °C lo mostró el modelo Peleg, con un coeficiente de R^2 de 0,983, 0,993 y 0,999 para tres temperaturas y una Chi^2 de 0,011, 0,006 y 0,001 en los tres casos respectivamente; de lo anterior se puede concluir que el modelo de Peleg estima la humedad en equilibrio con un alto grado de aproximación.

Igualmente se aprecia que la actividad de agua crece al aumentar la temperatura cuando se mantiene constante el contenido de humedad; además se observa que hay un cruce en las curvas cuando la actividad de agua esta en 0,7 y la temperatura es mayor como se observa en la (Figura **5-5**), debido a la dilución de los solutos a altas temperatura. También es posible que la presencia de mohos y levaduras hayan afectado las mediciones en las muestras dado que la mayoría de mohos y levaduras comienzan a desarrollarse cuando la actividad de agua es superior a 0,6.

De la Figura **6-2** se puede notar que la razón de humedad alcanzó un valor de 0,012 a las 20 horas a 40 °C, respecto a la razón de humedad de 0,022, 0,031 y 0,022 para 50, 60 y 70 °C; en la Figura **6-3** se observa que el tiempo de secado para las temperaturas de 40, 50, 60 y 70 °C son de 20, 6, 5 y 4 horas aproximadamente, esto nos indica que a 40 °C toma cuatro veces más tiempo secar que a 50 y 60 °C y cinco veces más que a 70 °C. El contenido de

humedad final promedio fue de 9 % para las cuatro temperaturas.

En la Tabla **A-3** del Anexo A se aprecia que el mejor modelo que ajusta a los datos experimentales para la temperaturas de 40, 50, 60 y 70 °C es el modelo Logarítmico; este modelo Logarítmico puede ser aplicado para determinar la razón de humedad en el proceso de secado para la *Stevia rebaudia*, considerando que el coeficiente de correlación R^2 es superior al 98 % y las pruebas de ajuste de bondad Chi^2 se encuentran en la región de aceptación de hipótesis.

En la Figura **6-5** se aprecia los valores experimentales de la razón de humedad para 30, 40, 50 y 60 °C, estos fueron: 0.018, 0.004, 0.018 y 0.010 respectivamente; se evidencia que la razón de humedad para la temperaturas de 30 y 40 °C mostró un tiempo muy alto de 33 y 25 horas, con respecto a las de 50 y 60 °C que tuvo unos tiempos más cortos de secado de 8 y 6 horas aproximadamente. En la Figura **6-6** se observa que la *Mentha Spicata* sometida a 50 y 60°C el tiempo de secado resultó ser mucho menor que las sometidas a 30 y 40 °C. El tiempo de secado para 50 °C es tres veces menor que la de 40 °C y cuatro veces menor que la de 30 °C.

Los valores de las constantes de los modelos matemáticos teóricos se muestran en la tabla **6-5**, para probar el ajuste de los valores experimentales para cada modelo de secado se calculó el coeficiente de correlación R^2 y el valor de la chi^2 ; en la Tabla **A-4** del Anexo A se muestran los datos estadísticos calculados para cada modelo, teniendo en cuenta estos valores se encontró que el modelo que mejor ajuste tuvo los datos experimentales para la *Mentha Spicata* en las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C es el modelo logarítmico.

De la Tabla **7-1** se observa que a medida que aumenta la temperatura de secado aumenta la diferencia de color ΔE^* , es notorio que la temperatura de secado que menos afectó el color es la de 40°C y para las temperaturas de 50°C, 60°C y 70°C el ΔE^* presenta un ligero aumento y su diferencia de color es muy cercana. Al analizar los datos en la diferencia en la saturación ΔC^* se observa que para las temperaturas de 40°C, 60°C y 70°C los valores son positivos, lo cual indica que el color tiende hacia el amarillo; en cuanto a la temperatura de 50°C el color tiende hacia el azul. Para la diferencia del tono o matiz ΔH^* se evidencia que en las temperaturas de secado de 40°C, 60°C y 70°C el matiz cambia de un verde claro a un verde con un poco más de amarillo y para la de 50°C cambia de verde claro a un verde con mas oscuro. La diferencia del ángulo de giro Δh^* , se observa que a la temperatura de 50°C presento mayor desplazamiento con respecto a la otras temperaturas.

A los valores ΔE^* consignados en la Tabla **7-1** se le aplicó el análisis de varianza y se tiene el valor de Probabilidad = 0,0001 y un nivel de significancia de 0,05; entonces tenemos que $0,0001 < 0,05$, por lo cual se deduce que para la *Stevia rebaudiana* existen diferencias significativas entre las temperaturas de secado en la carga microbiana. Tabla **B-3** Anexo B.

Se observa en la Tabla **7-3** que a medida que aumenta la temperatura de secado aumenta la diferencia de color ΔE^* ; la diferencia en la saturación ΔC^* se vuelve más negativo, esto indica que la saturación del color se pierde cuando la temperatura aumenta; en la diferencia del tono o matiz ΔH^* se evidencia para todas las temperaturas el tono cambia de un verde más oscuro hacia el amarillo oscuro, siendo el cambio más notorio en el tratamiento de 60 °C y la que menos presenta cambio es la de 30 °C; la diferencia del ángulo Δh^* aumenta a medida que la temperatura crece, con excepción del tratamiento de 30 °C que se mantiene aproximadamente igual a la de 40°C.

A los datos de la Tabla **7-3** se le realizó una prueba de análisis de varianza con un intervalo de confianza 95 %, en la Tabla **B-8** del anexo: B se observa el valor de Probabilidad = 0,0001 y un nivel de significancia de 0,05, se tiene que $0,0001 < 0,05$, entonces se concluye existen diferencias significativas entre las temperaturas de secado para el color en la *Mentha spicata*.

Los valores del conteo de las UFC se presentados en la Tabla **7-5**, de estos resultados se observa que a mayor temperatura se inhibe la carga microbiana; a estos datos se le aplicó un análisis de varianza unidimensional con un intervalo de confianza para la media del 95 %, determinando si existen diferencias significativas entre las temperaturas de secado; en la Tabla **B-4** se observa el valor de Probabilidad = 0,0226 y un nivel de significancia de 0,05, de lo cual tenemos que $0,0226 < 0,05$, entonces existen diferencias significativas entre los tratamientos de temperatura para *Stevia renaudiana*. (Tabla **B-4** Anexo: B). De acuerdo con la tabla **4-4**, el valor máximo permisible para identificar el nivel de buena calidad para plantas aromáticas en bolsas filtrates debe ser menor a $1,00 \times 10^4 \frac{UFC}{g}$, al comparar los datos de la tabla **4-4** con los encontrados en este estudio todos las temperaturas de secado cumplen con lo establecido por la norma NTC 2698 [27]

Los valores del porcentaje de reducción en la actividad microbiológica se observan en la Figura **7-7**; se evidencia que en la temperatura de 30 °C hay un aumento del 20,4 % en la carga microbiana de mohos y levaduras del producto seco con respecto a los otros tratamientos que muestran una disminución cuando aumenta la temperatura. Según García [41], es posible que para la temperatura de 30 °C, el material vegetal haya sido expuesto a un largo tiempo de secado (33 horas) y humedad relativa alta creando un ambiente propicio para la proliferación de mohos y levaduras. Por esta razón se descarta esta temperatura como apropiada para el secado. Para los otros tres tratamientos se presenta una disminución en la carga microbiana del 67,6 %, 70,6 % y 97,5 % para 40, 50 y 60 °C respectivamente. Para la *Mentha spicata* el conteo de unidades formadores de colonia (UFC) mostrados en la tabla **7-6**; de acuerdo a la tabla **4-4**, el valor máximo permisible para identificar el nivel de buena calidad para plantas aromáticas en bolsas filtrates debe ser menor a $1,00 \times 10^4 \frac{UFC}{g}$, al confrontarlo con los encontrados en este estudio, todas las temperaturas de secado cumplen con lo establecido por la norma NTC 2698 [27], a excepción de la temperatura de 30°C en la *Mentha spicata*

que aumentó su carga microbiológica pero aún así se mantuvo dentro del rango estipulado por la norma. A los datos consignados en la Tabla **7-6** se le aplicó el análisis de varianza y se determinó el valor de Probabilidad = 0,0260 y un nivel de significancia de 0,05; entonces tenemos que $0,0260 < 0,05$, por lo cual se deduce que para la *Mentha spicata* existen diferencias significativas entre las temperaturas de secado en la carga microbiana. (Tabla **B-9** Anexo: B)

Aunque se sabe que la NTC 2698 [27], es para plantas aromáticas secas, se puede observar que los valores en fresco están por debajo de valor máximo permisible de dicha norma, excluyendo la muestra de *Stevia rebaudia* fresca que se uso para secar a 60 °C el recuento de mohos y levaduras fue de $1,11 \times 10^4$, este valor se encuentra por encima del índice máximo permisible de buena calidad y por debajo de $1,11 \times 10^5$ que es el índice máximo permisible de calidad aceptable.

En la Figura **7-9** se mostró los porcentajes de disminución de la actividad de agua y luego de ser sometido al proceso de secado se obtuvo una reducción de la actividad agua del 45,5 %, 44,4 %, 39,5 % y 43,6 % para 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C respectivamente; según Martinez [57], el crecimiento microbiano se presenta con una actividad de agua por encima 0,6; comparando los valores medidos en la actividad de agua después de ser sometidos al proceso de secado para la *Stevia rebaudiana* este se encuentra por debajo del valor límite, por lo cual se deduce que cualquiera de las temperaturas estudiadas cumple con el requerimiento establecido.

A los datos de la Tabla **7-7** se le aplicó un análisis de varianza con un intervalo de confianza 95 %, en la Tabla **B-5** del Anexo B se observa el valor de Probabilidad = 0,0140 y un nivel de significancia de 0,05, se tiene que $0,0140 < 0,05$, entonces se concluye existen diferencias significativas entre las temperaturas de secado para la actividad de agua en la *Stevia rebaudiana*.

Según Martinez [57], el valor de la actividad de agua mostrada en la Figura **7-10** debe ser menor a 0,6 para garantizar la conservación del producto en almacenamiento. Considerando los valores medidos se encuentra que para las tres temperaturas de secado de 40, 50 y 60 °C cumple con el valor mencionado de 0,6; la actividad de agua por debajo de este valor implica que hay una disminución en el crecimiento microbiano y la producción de toxinas. Se deduce que la temperatura de secado de 30 °C no favorece como tratamiento térmico por tener una actividad de agua mayor a 0,6.

A los datos de la Tabla **7-8** se le realizó una prueba de análisis de varianza con un intervalo de confianza 95 %, en la Tabla **B-10** del anexo B se observa el valor de Probabilidad = 0,0033 y un nivel de significancia de 0,05, se tiene que $0,0033 < 0,05$, entonces se concluye existen diferencias significativas entre las temperaturas de secado para la actividad de agua en la *Mentha spicata*.

En la Figura 7-13 se observó una reducción de los aceites esenciales del 37,1 %, 30,3 %, 48,7 % y 55,3 % para las temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C, y se evidencia que los tratamientos que presentan mayor pérdida en el contenido de aceite esencial superior al 48 % son los de 50 y 60 °C. A los datos de la Tabla 7-9 se efectuó el análisis de varianza con un intervalo de confianza 95 %, en la Tabla B-11 del Anexo B se observa el valor de Probabilidad = 0,1201 y un nivel de significancia de 0,05, se tiene que $0,1201 > 0,05$, entonces se concluye que existen diferencias significativas, de lo cual se deduce que a cualquier temperatura de secado hay una pérdida en el contenido de aceites esenciales para la *Mentha spicata*. Se evidencia en la Figura 7-13 que la temperatura de 30°C mostró una reducción superior que la de 40 °C, lo cual es posible asociar la pérdida al mayor tiempo de secado que estuvo expuesta la *Mentha spicata*; según esto la temperatura de 40 °C puede estar relacionada a la temperatura ideal para el secado.

En la Tabla 7-11 se mostró los principales compuestos del aceite esencial de la *Mentha spicata*. Para el aceite esencial del material fresco que se sometió al proceso de secado a 40 °C, se identificó un total de 31 componentes y para el seco a 40 °C un total de 36 (Anexo: C), se encontró que 12 compuestos son los mayoritarios con el 84,8 % y 67,8 % para fresco y seco respectivamente. Se evidencia que en el material seco los compuestos como el β -Mirceno, Limonene, 1,8-Cineol, β -Ocimeno, P-Menthe-8-ol, Trans-Carveol y Carvona presentó una disminución en la cantidad de sus componente; con respecto al fresco y los compuestos como Acetato de geranilo, Acetato de Cis-carvilo, β -Bourbuneno, Cariofileno, γ -Cadileno presentan un aumento. Como lo afirma Hossain [47] el proceso de secado produce pérdidas en sus compuestos volátiles y promueve la formación de nuevos como resultado de reacciones de oxidación o reacciones de esterificación. Los dos compuestos principales, la Carvona y el Limonene, presentó una reducción de 16,1 % y 47,6 % cada uno, para temperatura de secado de 40 °C.

Los compuestos del aceite esencial de la *Mentha spicata* para el material fresco que se sometió al secado a 50 °C presentados en la Tabla 7-12, se identificó un total de 29 componentes para la *Mentha spicata* fresca y para la seca a 50 °C de 38. Se encontró que de los 12 compuestos los mayoritarios son del 79,6 % y 67,5 % para fresco y seco respectivamente. Se evidencia como en el caso anterior que hay una disminución en la cantidad de los mismos compuestos y un aumento en los otros, presentando la misma tendencia. Los dos compuestos principales la Carvona y el Limonene presentan una reducción 10,4 % y 28,8 % respectivamente.

Al observar los datos del test de Tukey presentados en la Tabla B-6 del Anexo B, para los parámetros de calidad en la *Stevia rebaudia* se tiene que la temperatura que mejor conserva el color es la de 40 °C; la temperatura de secado que mas reduce la actividad microbiana es la de 70 °C, sin embargo esta guarda una relación con las temperaturas de 50 y 60 °C; para

la actividad de agua el efecto del secado es el mismo para las temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Se asume un sistema de calificación en el cual se asigna el valor de 1 a la temperatura de secado que cumpla con las características mas óptimas de calidad y 0 a las que no las cumpla; entonces se tiene que para el color la temperatura de secado mas apropiada es aquella que mas se parezca al color en fresco ($\Delta E^* \approx 0$), en la microbiología la temperatura que mas reduzca la actividad microbiana ($UFC \approx 0$) y para la actividad de agua la temperatura que mas la disminuya y la mantenga por debajo del valor limite ($A_w < 0,6$). Otro factor importante que ayuda a decidir la mejor temperatura de secado para la *Stevia rebaudia* es el tiempo de secado mencionado en la Tabla 6-1. Al observar la Tabla 8-1 se puede concluir que la temperatura optima de secado para la *Stevia rebaudia* es de 60°C.

Tabla 8-1.: Estimación de la temperatura optima para el proceso de secado en la *Stevia rebaudia*

	40°C	50°C	60°C	70°C
Color	1	1	1	0
Microbiología	0	1	1	1
Actividad de agua	0	1	1	1
\sum_{Total}	1	3	3	2
Tiempo de secado (h)	20	6	5,3	4

Analizando los resultados del test de Tukey presentados en la Tabla B-12 del Anexo B, para los parámetros de calidad en la *Mentha spicata* se tiene que la temperatura que mejor conserva el color es la de 30 °C; la temperatura de secado que más reduce la actividad microbiana es la de 60°C, sin embargo esta guarda una relación con las temperaturas de 40 y 50 °C; para la actividad de agua la temperatura de 60 °C fue la que presentó la mayor reducción y para el aceite esencial se encontró que cualquier temperatura de secado reduce significativamente su contenido de aceite. Al igual que en el caso anterior se asume un sistema de calificación en el cual se asigna el valor de 1 a la temperatura de secado que cumpla con las características más óptimas de calidad y 0 a las que no las cumpla. Al analizar la Tabla 8-2 da como resultado que las temperaturas apropiadas de secado para la *Mentha spicata* son las de 40 y 60 °C; pero al tener en cuenta que el parámetro de color es muy importante y dado que a 60 °C presenta la mayor diferencia de color, se descarta esta temperatura. Además para la temperatura de 40 °C presento un tiempo de secado bastante largo cercano a las 25 horas, se tiene que el tiempo de secado para 50 °C es tres veces más rápido que la de 40 °C y cuatro veces más rápido que la de 30 °C, por lo cual se deduce que la temperara de secado

a 40°C puede ser no muy remendada para secar la *Mentha spicata*. Asimismo se tiene que la temperatura de secado a 50 °C no conserva en su totalidad todas las características de calidad pero tiene un tiempo de secado más corto, entonces se puede concluir que la temperatura optima de secado para la *Mentha spicata* esta por encima de 40 y por debajo 50 °C.

Tabla 8-2.: Estimación de la temperatura optima para el proceso de secado en la *Mentha spicata*

	30°C	40°C	50°C	60°C
Color	1	1	0	0
Microbiología	0	1	1	1
Actividad de agua	0	0	0	1
Aceite esencial	1	1	1	1
\sum_{Total}	2	3	2	3
Tiempo de secado (h)	33	25	8	5,7

En general al evaluar los resultados de los parámetros de calidad en la *Mentha spicata*, se puede concluir que la temperatura adecuada para el secado de estas hierbas aromáticas va de acuerdo a su uso final. Para el caso de los aceites esenciales de la *Mentha spicata*, que son ampliamente usados en la industria de farmacéutica, saborizantes, cosméticos etc, es recomendable usar una temperatura de secado que se encuentre en un intervalo 40 y 50 °C con fin de garantizar la menor perdida en cantidad de volumen de los aceites esenciales. Para la comercialización para consumo en bebidas en bolsas filtrantes se sugiere secar con una temperatura máxima de 50 °C, con el fin de conservar la calidad en cuanto aceites esenciales, cumplir con requerimientos de calidad microbiología y tener un tiempo de secado más corto.

9. Conclusiones y Recomendaciones

9.1. Conclusiones

Se evaluó los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha Spicata*); dando como resultado que la temperatura adecuada para el secado va de acuerdo al uso final que se requiera como la comercialización en bolsas filtrantes, en hoja seca o aceites esenciales.

Se determinó las curvas de secado a 40 °C, 50°C, 60°C y 70 °C para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y a 30 °C, 40°C, 50°C y 60 °C para la Hierbabuena (*Mentha Spicata*); se encontró que el modelo de secado que mejor se ajustan para la *Stevia rebaudiana* y para la *Mentha Spicata* es el modelo Logarítmico.

Se determinó las isotermas de sorción para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) a las temperaturas de 20°C, 50°C y 60 °C y para la Hierbabuena (*Mentha spicata*) a 20°C, 40°C y 50 °C, en donde el mejor modelo que describe las isotermas de sorción para la *Stevia sebaudiana* es el modelo de Oswin y para la *Mentha spicata* es el de modelo de Peleg.

Se determinó la influencia del secado sobre el color para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*); para la *Stevia rebaudiana* la temperatura que conserva el mejor color esta entre 40 y 50 °C y para la *Mentha spicata* el mejor color esta a 40 °C.

Se determinó la influencia del secado sobre la pérdida en el contenido aceites esenciales en la Hierbabuena (*Mentha spicata*); la temperatura que menos presentó disminución es la de 40 °C. Para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) no se obtuvo ningún resultado por el método planteado en esta investigación.

El mejor tratamiento térmico que inhibe la propagación de mohos y levaduras para la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y la Hierbabuena (*Mentha spicata*) son los de las temperaturas mas altas en 70 y 60 °C respectivamente.

Se determinaron los compuestos volátiles de los aceites esenciales en la *Mentha spicata* para las temperaturas de 40 y 50 °C; donde se obtuvo que la menor perdida se tiene a la temperatura de 50 °C.

9.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios usando destilación por fluido supercrítico para la Stevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*), dado que este es un método más eficiente para la extracción de los componentes activos de Stevia.

Es recomendable adelantar más investigaciones donde se varíe la altura de capa y la humedad relativa en el secado para encontrar los parámetros de los modelos y se ajusten mas a la realidad del secado a nivel industrial.

Se recomienda realizar investigaciones donde se estudie más a fondo la calidad del aceite esencial de la *Mentha spicata* como las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas.

Se sugiere llevar a cabo estudios de secado únicamente de hojas de *Mentha spicata*, dado que esta es la parte útil de la planta; el tallo por ser mas grueso dificulta la extraction de agua, como consecuencia se sobre secan las hojas por estar más tiempo expuestas al efecto de la temperatura.

Bibliografía

- [1] RAMÍREZ, L.E. (Ed.). *Informe agronómico sobre el cultivo de Stevia rebaudiana, la hierba dulce*. 2005
- [2] OF AGRICULTURAL, American S. ; ASAE, Biological E. *Moisture Measurement—Forages*. 02 2003
- [3] AHMED, J. ; SHIVHARE, U.S. ; SINGH, G.: Drying Characteristics and Product Quality of Coriander Leaves. En: *Food and Bioproducts Processing* 79 (2001), Nr. 2, p. 103 – 106. – ISSN 0960–3085
- [4] AKPINAR, E. K.: Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: Modelling, performance analyses. En: *Energy Conversion and Management* 51 (2010), Nr. 12, p. 2407 – 2418. – ISSN 0196–8904
- [5] ALIMENTARIUS, CODEX. *CODEX Alimentarius: Lista de las normas*. Consultado: 19/08/2013. www.codexalimentarius.org
- [6] ARABHOSSEINI, A. ; HUISMAN, W. ; VAN BOXTEL, A. ; MÄLLER, J.: Long-term effects of drying conditions on the essential oil and color of tarragon leaves during storage. En: *Journal of Food Engineering* 79 (2007), Nr. 2, p. 561 – 566. – ISSN 0260–8774
- [7] ARGYROPOULOS, Dimitrios ; ALEX, Rainer ; KOHLER, Robert ; MULLER, Joachim: Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of leaves and stems of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) established by dynamic vapor sorption. En: *Food Science and Technology* 47 (2012), Nr. 2, p. 324 – 331. – ISSN 0023–6438
- [8] ARGYROPOULOS, Dimitrios ; ALEX, Rainer ; MULLER, Joachim: Equilibrium moisture contents of a medicinal herb (*Melissa officinalis*) and a medicinal mushroom (*Lentinula edodes*) determined by dynamic vapour sorption. En: *Procedia Food Science* 1 (2011), Nr. 0, p. 165 – 172. – ISSN 2211–601X
- [9] ARGYROPOULOS, Dimitrios ; MULLER, Joachim: Effect of Convective Drying on Quality of Lemon Balm (*Melissa Officinalis* L.). En: *Procedia Food Science* 1 (2011), Nr. 0, p. 1932 – 1939. – ISSN 2211–601X

- [10] ARGYROPOULOS, Dimitrios ; MULLERA, Joachim: Changes of essential oil content and composition during convective drying of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). En: *Industrial Crops and Products* 52 (2014), Nr. 0, p. 118 – 124. – ISSN 0926–6690
- [11] ARSLAN, Derya ; Ã–ZCAN, M. M. ; MENGEÅY, Hakan O.: Evaluation of drying methods with respect to drying parameters, some nutritional and colour characteristics of peppermint (*Mentha x piperita* L.). En: *Energy Conversion and Management* 51 (2010), Nr. 12, p. 2769 – 2775. – ISSN 0196–8904
- [12] ASEKUN, O.T. ; GRIERSON, D.S. ; AFOLAYAN, A.J.: Effects of drying methods on the quality and quantity of the essential oil of *Mentha longifolia* L. subsp. *Capensis*. En: *Food Chemistry* 101 (2007), Nr. 3, p. 995 – 998. – ISSN 0308–8146
- [13] ATKINS, Peter ; JONES, Loretta: *Principios de química / Principles of Chemistry: Los caminos del descubrimiento / The Paths to Discovery (Spanish Edition)*. Media Panamericana, 2006. – ISBN 9500600803
- [14] BAHLOUL, Neila ; BOUDHRIOUA, Nourhene ; KECHAOU, Nabil: Moisture desorption adsorption isotherms and isosteric heats of sorption of Tunisian olive leaves (*Olea europaea* L.). En: *Industrial Crops and Products* 28 (2008), Nr. 2, p. 162 – 176. – ISSN 0926–6690
- [15] BAKKALI, F. ; AVERBECK, S. ; AVERBECK, D. ; IDAOMAR, M.: Biological effects of essential oils - A review. En: *Food and Chemical Toxicology* 46 (2008), Nr. 2, p. 446 – 475. – ISSN 0278–6915
- [16] BARBA, Francisco J. ; CRIADO, María N. ; BELDA-GALBIS, Clara M. ; ESTEVE, María J. ; RODRIGO, Dolores: Stevia rebaudiana Bertoni as a natural antioxidant/antimicrobial for high pressure processed fruit extract: Processing parameter optimization. En: *Food Chemistry* 148 (2014), Nr. 0, p. 261 – 267. – ISSN 0308–8146
- [17] BARREIRO, José A ; SANDOVAL, Aleida J.: *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Equinoccio, 2002 - ISBN 9802372102
- [18] BLUME: *La Armonía De Los Colores*. Blume, 1994 - ISBN:9788480766722. – ISBN 8480766727
- [19] BOTÁNICO, Jardín. *Flora Iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Consultado 12/12/2013. www.floraiberica.es
- [20] BRAVO, Francisco: *El manejo higienico de los alimentos / Hygiene Handling of Food: Guia para la obtencion del distintivo H / Guide for Obtaining the Distintive H (Spanish Edition)*. Editorial Limusa S.A. De C.V., 2004. – ISBN 9681863089

- [21] CADAVID, Gildardo De Jesús M. ; DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, Facultad (Ed.): *Aceites Esenciales Una Alternativa de Diversificación para el Eje Cafetero*. Sección publicaciones e imagen Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 2010 - ISBN 9288280264
- [22] CALIN-SANCHEZ, Angel ; LECH, Krzysztof ; SZUMNY, Antoni ; FIGIEL, Adam ; CARBONELL-BARRACHINA, Angel A.: Volatile composition of sweet basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by drying method. En: *Food Research International* 48 (2012), Nr. 1, p. 217 – 225. – ISSN 0963–9969
- [23] CAPECKA, Ewa ; MARECZEK, Anna ; LEJA, Maria: Antioxidant activity of fresh and dry herbs of some Lamiaceae species. En: *Food Chemistry* 93 (2005), Nr. 2, p. 223 – 226. – ISSN 0308–8146
- [24] DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC, Instituto C. *Industria agrícola. Especies, hierbas y condimentos. Determinación del contenido de aceite volátil. Método de referencia*.
- [25] DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC, Instituto C. *Industria Agrícola. Plantas Aromáticas. Nomenclatura Botánica*. 10/22 1997
- [26] DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC, Instituto C. *Microbiología guía general para el recuento de mohos y levaduras. Técnica de recuento de colonias a 25 °C*. 05/28 1997
- [27] DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC, Instituto C. *Industrias agrícola plantas aromáticas en bolsas filtrantes*. 09/23 1998
- [28] CHEN, Chiachung: Obtaining the isosteric sorption heat directly by sorption isotherm equations. En: *Journal of Food Engineering* 74 (2006), Nr. 2, p. 178 – 185. – ISSN 0260–8774
- [29] CHERNETSOVA, Elena S. ; KHOMYAKOV, Yuri Y. ; GORYAINOV, Sergey V. ; OVCHAROV, Maxim V. ; BOCHKOV, Pavel O. ; ZATONSKY, George V. ; ZHOKHOV, Sergey S. ; ABRAMOVICH, Rimma A.: Capabilities of direct analysis in real time mass spectrometry and gas chromatography–mass spectrometry in the mint oil test. En: *Mendeleev Communications* 20 (2010), Nr. 5, p. 299 – 300. – ISSN 0959–9436
- [30] COSTA, Suzara S. ; GARIEPY, Yvan ; ROCHA, Sandra C. ; RAGHAVAN, Vijaya: Microwave extraction of mint essential oil – Temperature calibration for the oven. En: *Journal of Food Engineering* 126 (2014), Nr. 0, p. 1 – 6. – ISSN 0260–8774
- [31] CUERVO, Andrade Sandra P.: *Quality oriented drying of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.)*, Universität Kassel - Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften - Fachgebiet Agrartechnik, Tesis de Grado, 2011

-
- [32] DELGADO, Danny Christian E.: *Estudio de Pre-factibilidad para la Industrialización y Comercialización de la Stevia*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Tesis de Grado, 2007
- [33] DELLACASSA, Eduardo ; EDIPUCRS (Ed.): *Normalización de productos naturales obtenidos de especies de la flora aromática Latinoamericana*. 2010 - ISBN 9788539700547
- [34] CON BASE EN EVALUACIONES AGROPECUARIAS MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, AGRONET. *Producción de Hierbas Aromáticas en Colombia, 2007-2011*. 2012
- [35] DE DIOS ALVARADO, Jose Miguel Aguilera J.: *Metodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. EDITORIAL ACRIBIA, S.A., 2001 - ISBN 84-200-0939-3. – ISBN 8420009393
- [36] DOYMAZ, Abraham: Thin-layer drying behaviour of mint leaves. En: *Journal of Food Engineering* 74 (2006), Nr. 3, p. 370 – 375. – ISSN 0260-8774
- [37] DOYMAZ, Ibrahim: Drying kinetics of white mulberry. En: *Journal of Food Engineering* 61 (2004), Nr. 3, p. 341 – 346. – ISSN 0260-8774
- [38] EVRENDILEK, Gulsum A. ; BALASUBRAMANIAM, V.M.: Inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Listeria innocua* in yogurt drink applying combination of high pressure processing and mint essential oils. En: *Food Control* 22 (2011), Nr. 8, p. 1435 – 1441. – ISSN 0956-7135
- [39] FOOD ; OF THE UNITED NATIONS, Agriculture O.: *Manuales para el control de calidad de los alimentos (Estudios FAO Alimentación y Nutrición)*. FAO, 1996. – ISBN 9253034033
- [40] MÉLIDA DE FRAUME RESTREPO, et a.: *El milagro de las plantas. Aplicaciones medicinales y orofaríngeas*. Fundacion Hogares Juveniles Campesinos, San Pablo, 2005 - ISBN 958-8233-31-3. – ISBN 9588233313
- [41] GARCÍA, Vera ; A DISTANCIA, Universidad E. (Ed.): *Introducción a la Microbiología*. 2004 - ISBN 9968-31-358-0
- [42] GHODAKE, H.M. ; GOSWAMI, T.K. ; CHAKRAVERTY, A.: Moisture sorption isotherms, heat of sorption and vaporization of withered leaves, black and green tea. En: *Journal of Food Engineering* 78 (2007), Nr. 3, p. 827 – 835. – ISSN 0260-8774
- [43] GRUPO FOMESA, Definición de C. *Grupo Fomesa, Definición de Calidad*. 2013

- [44] GUNHAN, Tuncay ; DEMIR, Vedat ; HANCIOGLU, Ebru ; HEPBASLI, Arif: Mathematical modelling of drying of bay leaves. En: *Energy Conversion and Management* 46 (2005), p. 1667 – 1679. – ISSN 0196–8904
- [45] GUSTAVO V. BARBOSA CÁNOVAS, Jr. Shelly J. Schmidt Theodore P. L.: *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Blackwell Publishing, 2007. – ISBN 0813824087
- [46] HOLGUÍN HERNÁNDEZ MARTHA STELLA, et a. *Manual de técnicas de análisis para control de calidad microbiológico de alimentos para consumo humano. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos INVIMA*. 1998
- [47] HOSSAIN, M.B. ; BARRY-RYAN, C. ; MARTIN-DIANA, A.B. ; BRUNTON, N.P.: Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. En: *Food Chemistry* 123 (2010), Nr. 1, p. 85 – 91. – ISSN 0308–8146
- [48] JOSÉ A. BARREIRO M., Aleida J. Sandoval B. ; EQUINOCCIO, Editorial (Ed.): *Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas*. 2006. – 47 p.
- [49] Y JOSE MARTIN MONTALBAN, Maria Angeles Mendiola U.: *Plantas aromaticas gastronomicas*. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España, 2009 - ISBN:978-84-8476-374-1. – ISBN 8484763749
- [50] KARAGÖZLÜ, Nural ; ERGÖNÜL, Bülent ; ÖZCAN, Dilek: Determination of antimicrobial effect of mint and basil essential oils on survival of E. coli O157:H7 and S. typhimurium in fresh-cut lettuce and purslane. En: *Food Control* 22 (2011), Nr. 12, p. 1851 – 1855. – ISSN 0956–7135
- [51] KAROUSOU, Regina ; BALTA, Maria ; HANLIDOU, Effie ; KOKKINI, Stella: “Mints”, smells and traditional uses in Thessaloniki (Greece) and other Mediterranean countries. En: *Journal of Ethnopharmacology* 109 (2007), Nr. 2, p. 248 – 257. – ISSN 0378–8741
- [52] KONICA MINOLTA SENSING, Inc.: *Color control from perception to instrumentation*, 2007
- [53] LEHOTAY, Steven J. ; HAJŠLOVÁ, Jana: Application of gas chromatography in food analysis. En: *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 21 (2002), p. 686 – 697. – ISSN 0165–9936
- [54] LIU, Xuesong ; QIU, Zhifang ; WANG, Longhu ; CHENG, Yiyu ; QU, Haibin ; CHEN, Yong: Mathematical modeling for thin layer vacuum belt drying of Panax notoginseng extract. En: *Energy Conversion and Management* 50 (2009), Nr. 4, p. 928 – 932. – ISSN 0196–8904

- [55] MACHADO, Julio Ernesto O.: *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos*. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola, 2001. – ISBN 9587011821
- [56] MADIGAN, Michael T. ; MARTINKO, John M. ; PARKER, Jack: *Brock, Biología de Los Microorganismos (Spanish Edition)*. Pearson Educacion, 2004. – ISBN 8420536792
- [57] MARTÍNEZ, Nuria N.: *Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento Entorno*. Universitat Politècnica de València, 2004. – 65 p.. – ISBN 8477217033
- [58] MARTÍNEZ, Tomás P.: *La hierba dulce. Historia, usos y cultivo de la Stevia Rebaudiana Bertoni*. 2002
- [59] MASKAN, Medeni: Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. En: *Journal of Food Engineering* 48 (2001), Nr. 2, p. 177 – 182. – ISSN 0260-8774
- [60] MEN ´SHUTINA, N.V. ; GORDIENKO, M.G. ; VOINOVSKII, A.A. ; KUDRA, T.: Dynamic criteria for evaluating the energy consumption efficiency of drying equipment. En: *Theoretical Foundations of Chemical Engineering* 39 (2005), Nr. 2, p. 158–162. – ISSN 0040-5795
- [61] MUTSCHLER, Hartke. *Deutsches Arzneibuch*. 1986
- [62] NÚÑEZ, Diego R.: *Las plantas medicinales de nuestra región*. Editorial Regional de Murcia, 1992 - ISBN 84-7564-130-X
- [63] FÜR NORMUNG (DIN), Deutsches I. *Konstantklimate Über Wassrigen Lösungen Gesättigte Salzlosungen - Glycerinlösungen*. 1981
- [64] PABLO A. LANDÁZURI A., Juan O. Tigrero. S. *Stevia Rebaudiana Bertoni, Una Planta Medicinal*. 09 2009
- [65] PARK, Kil J. ; VOHNIKOVA, Zdenka ; BROD, Fernando Pedro R.: Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). En: *Journal of Food Engineering* 51 (2002), Nr. 3, p. 193 – 199. – ISSN 0260-8774
- [66] MUNDO DE LAS PLANTAS, El. *Stevia planta*. Consultado: el 13/12/2013. www.botanical-online.com
- [67] SUS SECTORES PRODUCTIVOS, Bogotá-Cundinamarca. *Estructura de la Cadena Productiva*. 28/12/2013 1:30 pm
- [68] QUINTERO, Jose S.: *Cultivo del Perejil y de la Hierbabuena*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1985 - ISBN: 84-341-0498-9 (14/85)

- [69] RAHIMMALEK, Mehdi ; GOLI, Sayed Amir H.: Evaluation of six drying treatments with respect to essential oil yield, composition and color characteristics of *Thymys daenensis* subsp. *daenensis*. Celak leaves. En: *Industrial Crops and Products* 42 (2013), Nr. 0, p. 613 – 619. – ISSN 0926–6690
- [70] RICARDO D. ANDRADE P., Carmen E. PÉREZ C.: Modelos de isothermas de sorción para alimentos: usos y limitaciones. En: *Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. VITAE, Revista de la facultad de química farmacéutica*. Volumen 18 número 3 (2011), p. 325–334
- [71] ROA M., C.E.; Alvarez G. J.; Ramirez G. C.A.; Sanz U. J.R.; Davila A. M.T.; Alvarez H. J.R.; Zambrano F. D.A.; Puerta Q. G.I.; Rodriguez V.: Beneficio ecológico del café. (1999), p. 273
- [72] SANT'ANNA, Voltaire ; GURAK, Poliana D. ; MARCZAK, Ligia Damasceno F. ; TESSARO, Isabel C.: Tracking bioactive compounds with colour changes in foods - A review. En: *Dyes and Pigments* 98 (2013), Nr. 3, p. 601 – 608. – ISSN 0143–7208
- [73] SELLAMI, Ibtissem H. ; WANNES, Wissem A. ; BETTAIEB, Iness ; BERRIMA, Sarra ; CHAHED, Thouraya ; MARZOUK, Brahim ; LIMAM, Ferid: Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves as affected by different drying methods. En: *Food Chemistry* 126 (2011), Nr. 2, p. 691 – 697. – ISSN 0308–8146
- [74] SIMATOS, J: *Properties of Water in Foods: in Relation to Quality and Stability*. Springer, 1985. – ISBN 9024731534
- [75] SOYSAL, Y. ; OZTEKIN, S.: Equilibrium Moisture Content Equations for some Medicinal and Aromatic Plants. En: *Journal of Agricultural Engineering Research* 74 (1999), Nr. 3, p. 317 – 324. – ISSN 0021–8634
- [76] TELCI, Isa ; DEMIRTAS, Ibrahim ; BAYRAM, Emine ; ARABACI, Olcay ; KACAR, Oya: Environmental variation on aroma components of pulegone/piperitone rich spearmint (*Mentha spicata* L.). En: *Industrial Crops and Products* 32 (2010), Nr. 3, p. 588 – 592. – ISSN 0926–6690
- [77] OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR TESTING MATERIALS (ASTM), American S. *Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates*
- [78] TIBADUIZA, Viancha Carlos A.: *Estudio del comportamiento fisiológico poscosecha del Cebollín (Allium Schoenoprasum) sometido a dos temperaturas de almacenamiento*, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería., Tesis de Grado, 2009

-
- [79] TOGRUL, Inci T. ; PEHLIVAN, Dursun: Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. En: *Journal of Food Engineering* 55 (2002), Nr. 3, p. 209 – 216. – ISSN 0260–8774
- [80] TORTORA, Gerard J. ; FUNKE, Berdell R. ; CASE, Christine L.: *Introduccion a la microbiologia/ Microbiology: An Introduction (Spanish Edition)*. Editorial Medica Panamericana, 2007. – ISBN 9500607409
- [81] VAN WYK, Gericke ; PUBLICATIONS, Pretoria: B. (Ed.): *People's Plants: a guide to useful plants of southern Africa*. 2000 - ISBN 1 875093 19 2
- [82] VOLCY, Charles: *Lo malo y lo feo de los microbios*. Universidad Nacional de Colombia, 2004. – ISBN 9587014006
- [83] ZANOELO, Everton F.: Equilibrium Moisture Isotherms for Mate Leaves. En: *Biosystems Engineering* 92 (2005), Nr. 4, p. 445 – 452. – ISSN 1537–5110

A. Anexo A: Prueba de ajuste de bondad y coeficiente de correlación para las isotermas de sorción y las curvas de secado.

Mediante una prueba de Chi^2 se determinó el ajuste de los datos experimentales a los modelos teóricos en los experimentos de las isotermas de sorción y a las curvas de secado; con v grados de libertad y un nivel de significancia de $\alpha = 0,01$, aplicando la siguiente prueba de hipótesis:

H_0 : el modelo hace un buen ajuste

H_1 : el modelo no hace un buen ajuste

La medida estadística de prueba para la hipótesis nula es:

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (\text{A-1})$$

Donde:

O_i : frecuencia observada en la muestra

E_i : frecuencia esperada según la distribución teórica

n : tamaño de la muestra

Para los valores de la X^2 que tiendan a cero, se consideran óptimos.

Para determinar un buen ajuste entre los datos experimentales y los teóricos, se usa el coeficiente de correlación R^2 calculado mediante la ecuación A-2.

$$R^2 = \frac{\sum SS_R}{SS_T} \quad (\text{A-2})$$

Donde:

SS_R : la suma al cuadrado

SS_T : la suma total de los cuadrados

Para los valores de la R^2 que tiendan a uno, se consideran un buen ajuste.

Los análisis estadísticos de prueba de ajuste de bondad y coeficiente de correlación se realizaron mediante el programas SPSS de IBM Advanced Statistics versión 19.

A.1. Resultados estadísticos de las isotermas de sorción para la *Stevia rebaudiana* Bertoni

Tabla A-1.: Valores del coeficiente de correlación R^2 y la prueba χ^2 , para *Stevia rebaudiana*.

Modelo	Factor	20 °C	50 °C	60 °C
Oswin	χ^2	0,027	0,003	0,014
	R^2	0,983	0,998	0,995
Peleg	χ^2	0,033	0,090	0,102
	R^2	0,988	0,999	0,999
Halsey	χ^2	0,035	0,009	0,024
	R^2	0,982	0,998	0,992
BET	χ^2	0,036	0,004	0,015
	R^2	0,982	0,998	0,998
GAB	χ^2	0,030	0,005	0,014
	R^2	0,983	0,995	0,997
Henderson	χ^2	0,051	0,143	0,208
	R^2	0,976	0,997	0,998

A.2. Resultados estadísticos de las isotermas de sorción para la *Mentha spicata*

Tabla A-2.: Valores del coeficiente de correlación R^2 y la prueba χ^2 , para *Mentha spicata*.

Modelo	Factor	20 °C	40 °C	50 °C
Oswin	χ^2	0,026	0,008	0,002
	R^2	0,974	0,991	0,999
Peleg	χ^2	0,011	0,006	0,001
	R^2	0,983	0,993	0,999
Halsey	χ^2	0,018	0,008	0,005
	R^2	0,978	0,992	0,997
BET	χ^2	0,022	0,007	0,002
	R^2	0,979	0,992	0,999
GAB	χ^2	0,016	0,007	0,002
	R^2	0,979	0,992	0,999
Henderson	χ^2	0,073	0,026	0,002
	R^2	0,961	0,988	0,998

A.3. Resultados estadísticos de las curvas de secado para la *Stevia rebaudiana* Bertoni

Tabla A-3.: Valores estadísticos de los modelos matemáticos aplicados a las curvas de secado para *Stevia rebaudiana*.

Modelo	Constantes	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
Lewis	χ^2	0,132	0,029	0,086	0,025
	R^2	0,998	0,998	0,998	0,998
Page	χ^2	0,089	0,103	0,025	0,038
	R^2	0,997	0,999	0,999	0,999
Page modificado	χ^2	0,090	0,105	0,025	0,038
	R^2	0,997	0,999	0,999	0,999
Henderson y Pabis	χ^2	0,055	0,045	0,018	0,048
	R^2	0,998	0,998	0,999	0,999
Logarítmico	χ^2	0,012	0,045	0,015	0,005
	R^2	0,999	0,998	0,999	1,000
Dos términos	χ^2	0,055	0,046	0,018	0,048
	R^2	0,998	1,000	0,999	0,999

A.4. Resultados estadísticos de las curvas de secado para la *Mentha spicata*

Tabla A-4.: Valores estadísticos de los modelos matemáticos aplicados a las curvas de secado para *Mentha spicata*.

Modelo	Constantes	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
Lewis	Chi^2	0,061	0,104	0,017	0,052
	R^2	0,997	0,998	0,999	0,999
Page	Chi^2	0,089	0,103	0,025	0,038
	R^2	0,997	0,999	0,999	0,999
Page modificado	Chi^2	0,090	0,105	0,025	0,038
	R^2	0,997	0,999	0,999	0,999
Henderson y Pabis	Chi^2	0,055	0,045	0,018	0,048
	R^2	0,998	0,998	0,999	0,999
Logarítmico	Chi^2	0,012	0,045	0,015	0,005
	R^2	0,999	0,998	0,999	1,000
Dos términos	Chi^2	0,055	0,046	0,018	0,048
	R^2	0,998	1,000	0,999	0,999

B. Anexo B: Análisis de varianza

ANOVA en los parámetros de calidad

ANOVA unifactorial

Se empleó una prueba de análisis de varianza o ANOVA unifactorial para determinar las diferencias significativas en cada una de las variables de calidad en los ensayos de secado; asumiendo que los errores son independientes y se encuentran normalmente distribuidos con medias cero y varianzas iguales, se plantea la siguiente prueba de hipótesis:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

H_0 : la temperatura de secado no establece una diferencia en la calidad

H_1 : al menos una temperatura de secado establece una diferencia en la calidad

En la tabla **B-1** se muestran los estadísticos empleados para estimar el análisis de varianza.

Tabla B-1.: Anova .

Variación	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	a-1	$\sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^r (\bar{X} \cdot j - \bar{X} \cdot \cdot)^2$	$\frac{SCA}{(a-1)}$	CMA/CME	$> 0,05NS$ $< 0,05*$ $< 0,01 **$ $< 0,001 ***$
Error	a(r-1)	$\sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^r (X_{ij} - \bar{X}^2 \cdot j)^2$	$\frac{SCE}{a(r-1)}$		
Total	ar-1	$\sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^r (X_{ij} - \bar{X} \cdot \cdot)^2$			

Donde:

GL : Grados de libertad

SC : Suma de cuadrados

CM : Cuadrado medio

F : Estadístico de prueba

La designación niveles de significancia, *, **,***:

$P > 0,05$: diferencias no significativas

$P < 0,05$: diferencias significativas

$P < 0,01$ o $P < 0,001$: diferencias altamente significativas

Para calcular la ANOVA se tomó el valor promedio de las mediciones de calidad para cada temperatura de secado y como referencia se calculó un promedio de las mediciones realizadas a las características de calidad en fresco para cada material vegetal.

Test de Tukey

Para clasificar las diferencias significativas en las medias de los resultados obtenidos en la calidad de los ensayos de secado, se empleó el Test de Tukey con una confiabilidad del 95 %, donde el número de repeticiones para cada experimento fueron tres.

El estadístico Q viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{\sqrt{\frac{CME}{n}}} \quad (B-1)$$

Donde:

$\bar{X}_i - \bar{X}_j$: Medias muestrales de nivel i y j

CME : Error cuadrático medio

n : Numero de repeticiones

Para los análisis estadísticos para la ANOVA unifactorial y el Test de Tukey, se realizó mediante el programa Statistics versión 8.

B.1. Resultados de la ANOVA para la *Stevia rebaudiana* Bertoni

B.1.1. Resultados estadísticos para la *Stevia rebaudiana* Bertoni

Los valores promedio y el error estándar para la diferencia de las dos medias de los parámetros de calidad de microbiología y actividad de agua para la *Stevia rebaudiana*, se muestran en la tabla B-2.

Tabla B-2.: Valores promedio y error estándar para los parámetros de calidad .

	Color ΔE^*	Microbiología UFC	Actividad de agua
	Media	Media	Media
Fresco	0,0000	8774,0	0,9643
40°C	6,1200	4818,3	0,5250
50°C	9,6833	3272,7	0,5337
60°C	10,510	3697,0	0,5813
70°C	10,787	1485,0	0,5483
Observaciones	3	3	3
Error estándar	0,9685	700,35	$5,035 \times 10^{-3}$
Dif. 2 medias	1,3696	990,44	$7,121 \times 10^{-3}$

B.1.2. Resultados de la ANOVA para la variación de color

En la Tabla B-3 se muestra el valor calculado de $F=22,1$ y de $P=0,0001$ para la variación de color; este último parámetro es menor al intervalo de confianza tomado en el análisis de la ANOVA que es de $\alpha=0.05$.

Tabla B-3.: Análisis de anova del color para la *Stevia rebaudiana*

Variación	GL	SC	CM	F	P
Variación de color	4	248,255	62,0637	22,1	0,0001
Error	10	28,137	2,8137		
Total	14	276,392			

B.1.3. Resultados de la ANOVA para la microbiología

Para la calidad microbiológica se calculó un valor de $F=15,1$ y de $P=0,0226$; este último parámetro es menor al intervalo de confianza tomado en el análisis de la ANOVA que es de $\alpha=0.05$ Tabla B-4.

Tabla B-4.: Análisis de anova de la microbiología para la *Stevia rebaudiana*

Variación	GL	SC	CM	F	P
Microbiología	4	$8,871 \times 10^7$	$2,218 \times 10^7$	15,1	0,0226
Error	10	$1,471 \times 10^7$	1471450		
Total	14	$1,034 \times 10^8$			

B.1.4. Resultados de la ANOVA para la actividad de agua

En la Tabla B-5 se muestra el valor calculado de $F=1391$ y de $P=0,0140$ para la actividad de agua; este último parámetro es menor al intervalo de confianza tomado en el análisis de la ANOVA que es de $\alpha=0.05$.

Tabla B-5.: Análisis de anova de la actividad de agua para la *Stevia rebaudiana*

Variación	GL	SC	CM	F	P
Actividad de agua	4	0,42336	0,10584	1391	0,0140
Error	10	0,00076	0,00008		
Total	14	0,42412			

B.1.5. Resultados del test de Tukey

Una vez calculado el análisis de varianza o ANOVA, se realizó un test de Tukey, con el fin de determinar cuál es el grado de relación del efecto de las cuatro temperaturas de secado en la *Stevia rebaudiana*; en la tabla B-6 se muestran los resultados de la prueba, para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y un valor crítico de $Q = 4,655$.

Tabla B-6.: Valores del test de Tukey.

	Color	Microbiología	Actividad de agua
Fresco	A	A	A
40°C	B	B	B
50°C	BC	BC	C
60°C	BC	BC	C
70°C	C	C	C

B.2. Resultados de la ANOVA para la *Mentha spicata*

B.2.1. Resultados estadísticos para la *Mentha spicata*

En la tabla **B-7** se muestran los valores promedio, el error estándar y el error estándar para la diferencia de las dos medias de los parámetros de calidad de microbiología, actividad de agua y aceites esenciales para la *Mentha spicata*.

Tabla B-7.: Valores promedio y error estándar para los parámetros de calidad .

	Color ΔE^*	Microbiología UFC	Actividad de agua	Aceites esenciales
	Media	Media	Media	Media
Fresco	0,0000	7701,0	0,9677	1,2913
30°C	4,6867	5818,3	0,6327	0,7777
40°C	5,0867	2969,3	0,5593	0,7730
50°C	7,7033	2060,3	0,5697	0,7177
60°C	13,810	394,0	0,5103	0,6393
Observaciones	3	3	3	3
Error estándar	0,6447	843,0	$6,586 \times 10^{-3}$	0,0449
Dif. 2 medias	0,9117	1192,2	$9,314 \times 10^{-3}$	0,0635

B.2.2. Resultados de la ANOVA para la variación de color

En la Tabla **B-8** se muestra el valor calculado de $F=61,4$ y de $P=0,0001$ para la variación de color; este último parámetro es menor al intervalo de confianza tomado en el análisis de la ANOVA que es de $\alpha=0.05$.

Tabla B-8.: Análisis de anova del color para la *Mentha spicata*

Variación	GL	SC	CM	F	P
Variación de color	4	306,376	76,5940	61,4	0,0001
Error	10	12,469	1,2469		
Total	14	318,845			

B.2.3. Resultados de la ANOVA para la microbiología

Para el análisis microbiológico se calculó un valor de $F=12,2$ y de $P=0,0260$; este último parámetro es menor al intervalo de confianza tomado en el análisis de la ANOVA que es de $\alpha=0.05$ Tabla B-9.

Tabla B-9.: Análisis de anova de la microbiología para la *Mentha spicata*

Variación	GL	SC	CM	F	P
Microbiología	4	$1,038 \times 10^8$	$2,596 \times 10^7$	12,2	0,0260
Error	10	$2,132 \times 10^7$	2131929		
Total	14	$1,25 \times 10^8$			

B.2.4. Resultados de la ANOVA para la actividad de agua

En la Tabla B-10 se muestra el valor calculado de $F=780$ y de $P=0,0033$ para la actividad de agua; este último parámetro es menor al intervalo de confianza tomado en el análisis de la ANOVA que es de $\alpha=0.05$.

Tabla B-10.: Análisis de anova de la actividad de agua para la *Mentha spicata*

Variación	GL	SC	CM	F	P
Actividad de agua	4	0,40612	0,10153	780	0,0033
Error	10	0,00130	0,00013		
Total	14	0,40742			

B.2.5. Resultados de la ANOVA para aceites esenciales

En la Tabla **B-11** se muestra el valor calculado de $F=33,1$ y de $P=0,1201$ para los aceites esenciales; este último parámetro es menor al intervalo de confianza tomado en el análisis de la ANOVA que es de $\alpha=0.05$.

Tabla B-11.: Análisis de anova de los aceites esenciales para la *Mentha spicata*

Variación	GL	SC	CM	F	P
Destilación	4	0,80193	0,20048	33,1	0,1201
Error	10	0,06055	0,00605		
Total	14	0,86247			

B.2.6. Resultados del test de Tukey

Se realizó un test de Tukey, con el fin de determinar cuál es el grado de relación del efecto de las cuatro temperaturas de secado en la *Mentha spicata*; en la tabla **B-12** se muestran los resultados de la prueba, para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y un valor crítico de $Q = 4,655$.

Tabla B-12.: Valores del test de Tukey.

	Color	Microbiología	Actividad de agua	Aceites esenciales
Fresco	A	A	A	A
30°C	B	AB	B	B
40°C	BC	BC	C	B
50°C	C	BC	C	B
60°C	D	C	D	B

C. Anexo C: Cromatografía de gases - espectrometría de masas (GS-MS)

C.1. Cromatograma del aceite esencial de la *Mentha spicata* fresca para secar a 40°C

En la Figura C-1, muestra el cromatograma de los compuestos del aceite esencial para la *Mentha spicata* fresca que se sometió al proceso de secado a 40 °C. Los picos 1 y 2 que se observan son identificados como Xileno, este fue usado en la destilación para atrapar y cuantificar el rendimiento del aceite esencial de la *Mentha Spicata*.

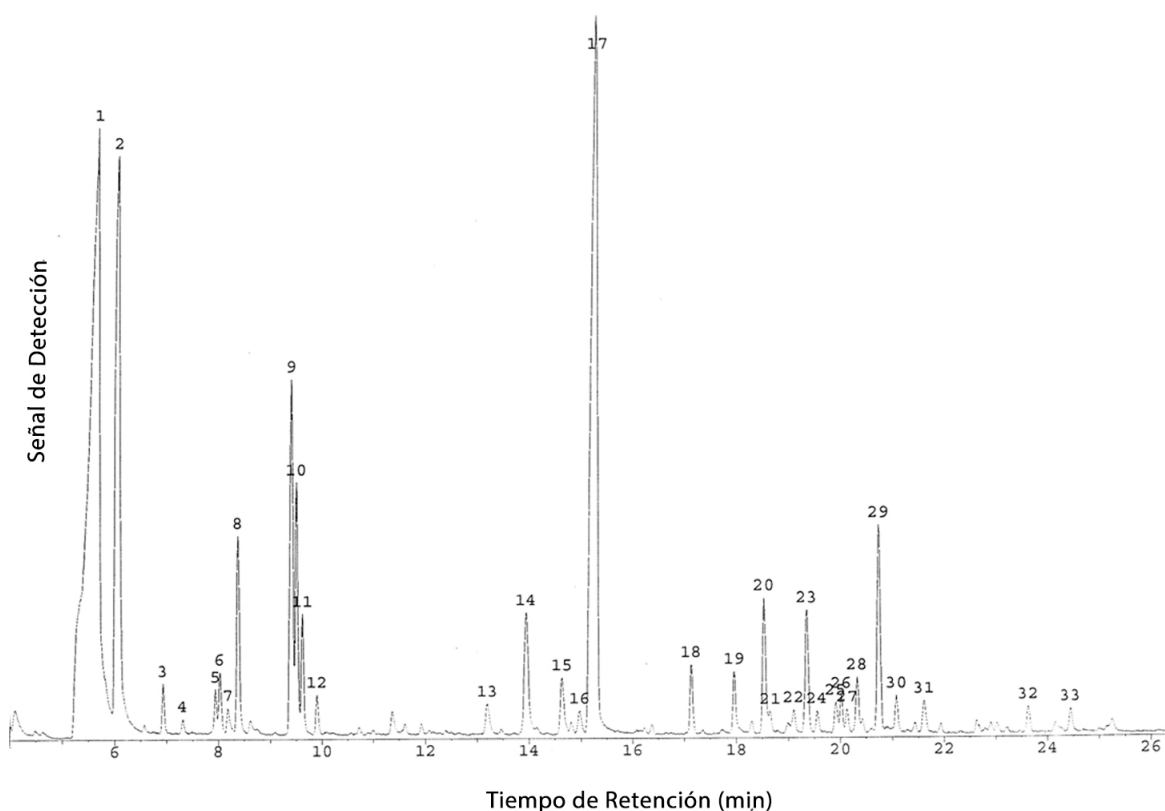


Figura C-1.: Cromatograma *Mentha Spicata* fresca.

Tabla C-1.: Identificación de los componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* en fresco para secar a 40 °C

Nombre	Pico	TR	IR	%A
α -Pino	3	6,932	936	1,059
Camfeno	4	7,309	951	0,223
Sabinene	5	7,939	975	0,895
β -Pino	6	8,027	979	1,510
1-Octe-3-ol	7	8,178	985	0,644
β -Mirreno	8	8,377	993	5,233
Limonene	9	9,413	1032	10,528
1,8-Cineol	10	9,505	1035	6,352
β -Ocimeno	11	9,618	1039	2,993
Sabineno	12	9,898	1050	0,963
1-Terpinen-4-ol	13	13,198	1175	0,962
P-Menthe-8-ol	14	13,944	1204	4,618
Trans-Carveol	15	14,633	1231	1,816
Cis-Carveol	16	14,975	1245	0,641
Carvona	17	15,331	1260	35,928
Acetato de geranilo	18	17,131	1334	1,814
Acetato de Cis-carvilo	19	17,960	1369	1,600
β -Bourbuneno	20	18,535	1393	4,035
β -Elemeno	21	18,659	1399	0,551
α -Gurjuneno	22	19,101	1419	0,382
Cariofileno	23	19,352	1430	3,843
β -Gurjuneno	24	19,549	1439	0,499
Cadina 3-5 Diene	25	20,014	1455	0,883
Nerolidol	26	19,909	1460	0,936
No identificado	27	20,127	1465	0,611
No identificado	28	20,325	1474	1,282
γ -Cadileno	29	20,745	1492	6,080
Germacreno β	30	21,078	1508	0,869
Cis-Calamenene	31	21,609	1533	0,986
No identificado	32	23,628	1631	0,706
No identificado	33	24,448	1672	0,558

C.2. Cromatograma del aceite esencial de la *Mentha spicata* seca a 40°C

El cromatograma de los compuestos del aceite esencial para la *Mentha spicata* seca a 40 °C se muestra en la Figura C-2. Se identifico en los picos 1 y 2 las trazas de Xileno.

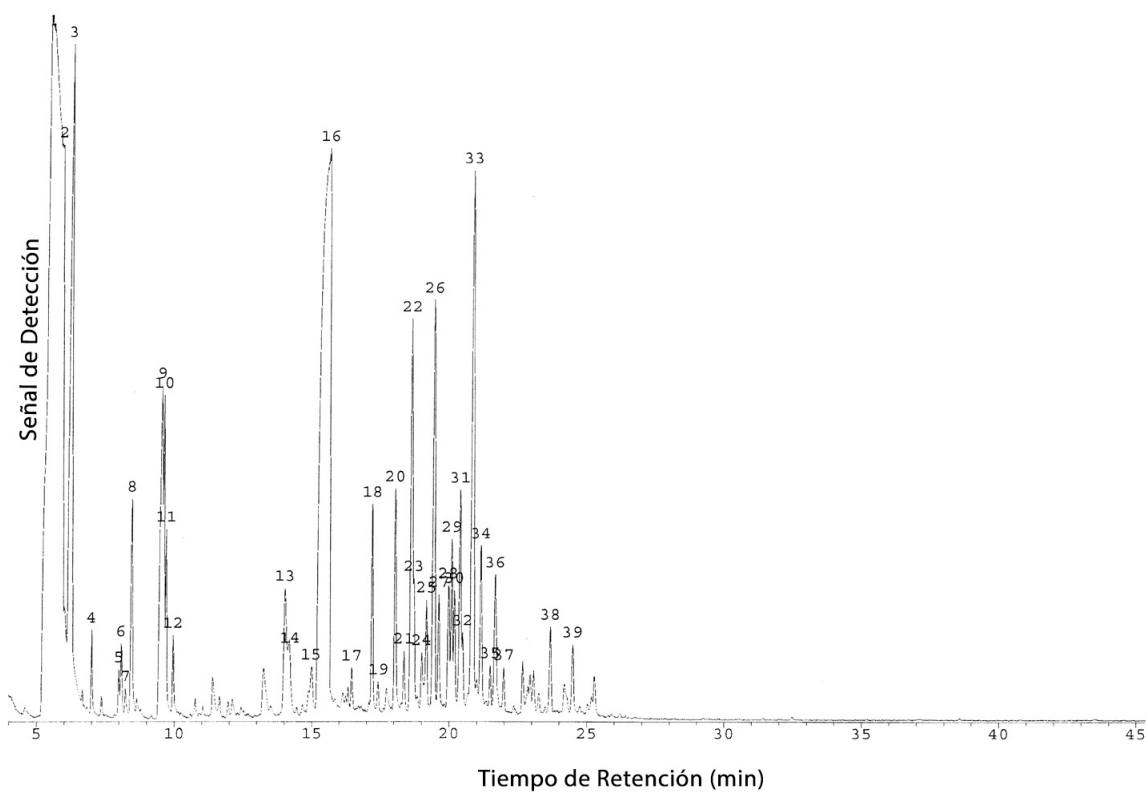


Figura C-2.: Cromatograma *Mentha Spicata* seca a 40 °C.

Tabla C-2.: Identificación de los componentes químicos de los aceites esenciales de la Menta en Seco a 40 °C

Nombre	Pico	TR	IR	%A
No identificado	3	6,271	910	12,109
,3,6 Octatriene	4	6,997	938	0,586
Sabinene	5	7,987	977	0,349
β -Pinene	6	8,075	981	0,642
1-Octe-3-ol	7	8,218	986	0,203
β -Mirceno	8	8,455	996	2,313
Limonene	9	9,541	1036	5,521
1,8-Cineol	10	9,615	1039	2,734
β -Ocimeno	11	9,696	1042	1,497
Sabineno	12	9,952	1052	0,534
P-Menthe-8-ol	13	14,015	1207	2,038
Trans-Carveol	14	14,213	1215	1,174
Cis-Carveol	15	14,973	1245	0,051
Carvona	16	15,623	1271	30,132
Dihidroedulan I	17	16,454	1305	0,337
Acetato de geranilo	18	17,202	1337	1,935
β -Elemene	19	17,433	1347	0,249
Acetato de Cis-carvilo	20	18,032	1372	2,294
α -Cubeneno	21	18,360	1386	0,429
β -Bourbuneno	22	18,628	1397	5,070
1,5,9 Cyclododecatriene	23	18,716	1401	1,022
Cis-Jusmone	24	19,001	1414	0,744
α -Gurjuneno	25	19,166	1421	1,026
Cariofileno	26	19,444	1434	5,247
β -Gurjuneno	27	19,617	1442	1,037
Cadina 3-5 Diene	28	19,969	1458	1,460
Nerolidol	29	20,090	1463	1,702
No identificado	30	20,186	1467	1,071
No identificado	31	20,395	1477	2,517
Calarene	32	20,484	1481	0,597
γ -Cadileno	33	20,858	1497	7,872
Germacreno β	34	21,147	1511	1,819
No identificado	35	21,486	1527	0,352
Cis-Calamenene	36	21,670	1536	1,475
α -Muurolene	37	21,980	1551	0,323
No identificado	38	23,672	1633	0,849
No identificado	39	24,488	1674	0,692

C.3. Cromatograma del aceite esencial de la *Mentha spicata* fresca para secar a 50°C

En la Figura C-3, muestra el cromatograma de los compuestos del aceite esencial para la *Mentha spicata* fresca que se sometió al proceso de secado a 40 °C.

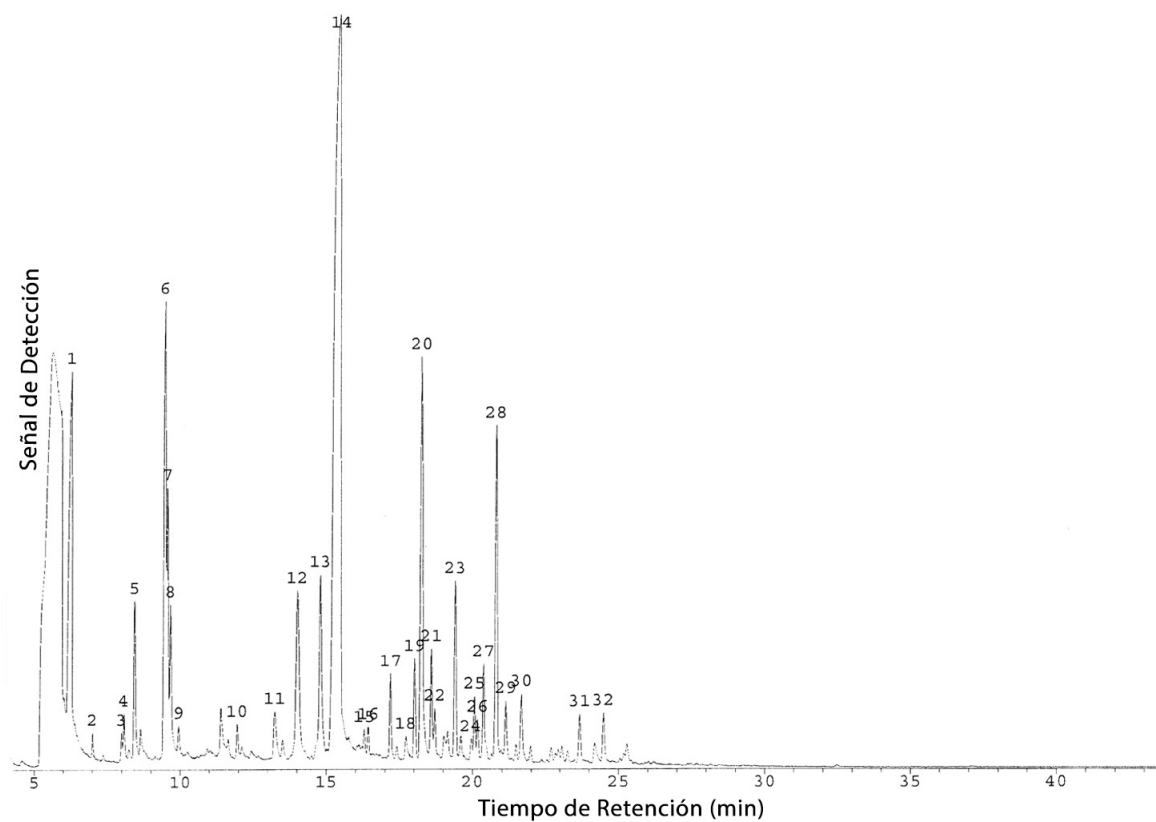


Figura C-3.: Cromatograma *Mentha Spicata* fresca.

Tabla C-3.: Identificación de los componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* en fresco para secar a 50 °C

Nombre	Pico	TR	IR	%A
Sabinene	3	7,989	977	0,316
β -Pinene	4	8,078	981	0,604
β -Mirceno	5	8,425	994	2,491
Limonene	6	9,478	1034	9,753
1,8-Cineol	7	9,557	1037	3,891
β -Ocimeno	8	9,666	1041	2,636
Sabineno	9	9,947	1052	0,487
3-Octanyl Acetate	10	11,963	1128	0,461
1-Terpinen-4-ol	11	13,241	1177	1,037
P-Menthe-8-ol	12	14,011	1206	4,518
Trans-Carveol	13	14,803	1238	3,828
Carvona	14	15,502	1266	38,714
Dihidroedulan II	15	16,297	1298	0,260
Dihidroedulan I	16	16,430	1304	0,263
Acetato de geranilo	17	17,187	1336	1,212
Berbenone	18	17,718	1359	0,242
Acetato de Cis-carvilo	19	18,020	1372	1,669
Napthtalenenone	20	18,266	1382	9,275
β -Bourbuneno	21	18,591	1396	1,858
2-3 Diisopropenyl	22	18,711	1401	0,711
Cariofileno	23	19,413	1433	3,104
Cadina 3-5 Diene	24	19,951	1457	0,332
Nerolidol	25	20,070	1462	0,893
No identificado	26	20,180	1467	0,600
No identificado	27	20,380	1476	1,325
γ -Cadileno	28	20,809	1495	5,974
Germacreno β	29	21,131	1510	0,881
Cis-Calamenene	30	21,673	1536	1,135
No identificado	31	23,674	1633	0,725
No identificado	32	24,490	1674	0,804

C.4. Cromatograma del aceite esencial de la *Mentha spicata* seca a 50°C

El cromatograma de los compuestos del aceite esencial para la *Mentha spicata* seca a 50 °C se muestra en la Figura C-4

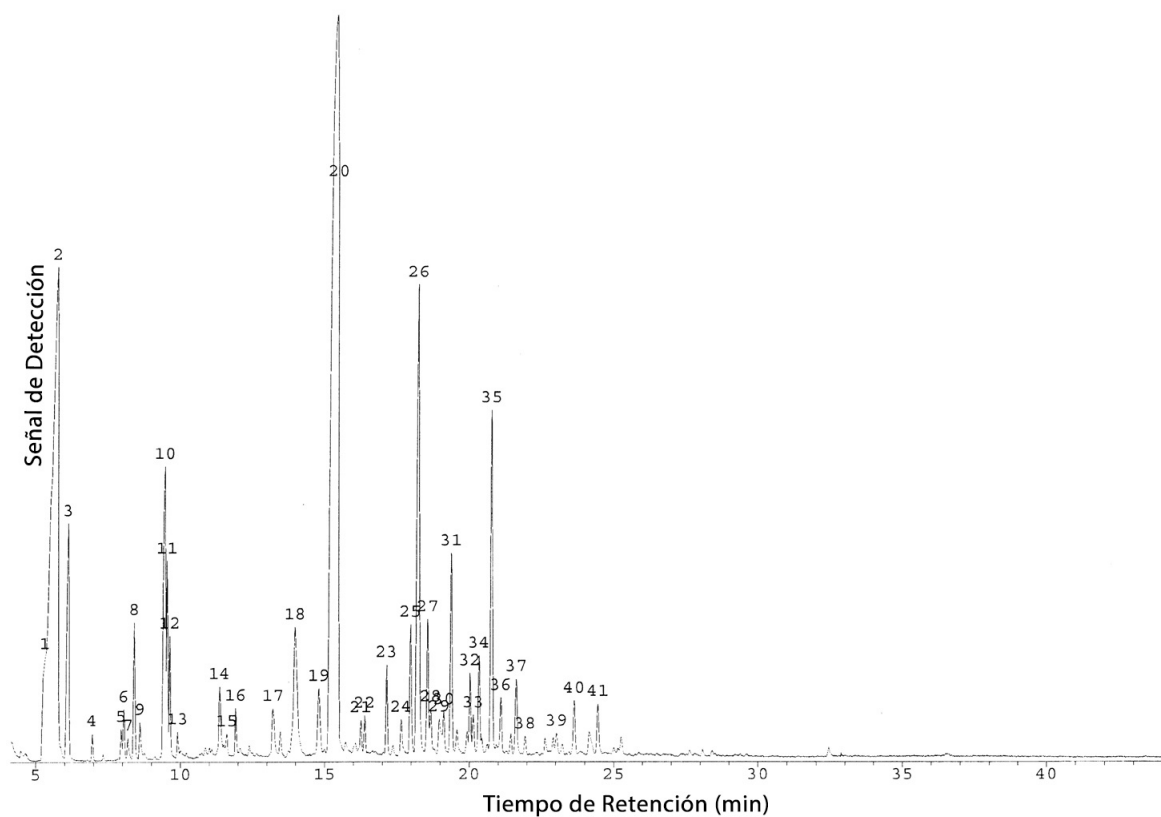


Figura C-4.: Cromatograma *Mentha Spicata* seca a 50 °C.

Tabla C-4.: Identificación de los componentes químicos de los aceites esenciales de la *Mentha spicata* en Seco a 50 °C

Nombre	Pico	TR	IR	%A
No identificado	3	6,133	905	5,105
1,3,6 Octatriene	4	6,952	937	0,312
Sabinene	5	7,952	976	0,390
β -Pinene	6	8,041	979	0,667
1-Octe-3-ol	7	8,180	985	0,301
β -Mirceno	8	8,398	993	2,064
3-Octan 3-ol	9	8,596	1001	0,448
Limonene	10	9,472	1034	6,943
1,8-Cineol	11	9,541	1036	2,444
β -Ocimeno	12	9,636	1040	1,557
Sabineno	13	9,908	1050	0,258
Linalool	14	11,360	1105	1,167
Octenyl Acetate	15	11,613	1114	0,426
4-Octanol 7-Methyl	16	11,923	1126	0,600
1-Terpinen-4-ol	17	13,210	1175	1,012
P-Menthe-8-ol	18	13,973	1205	2,986
Trans-Carveol	19	14,802	1238	1,471
Carvona	20	15,493	1266	34,677
Dihidroedulan II	21	16,263	1297	0,376
Dihidroedulan I	22	16,396	1302	0,466
Acetato de geranilo	23	17,151	1335	1,273
2-H-Irden 2-One	24	17,657	1356	0,477
Acetato de Cis-carvilo	25	17,979	1370	2,226
Naphtalenenone	26	18,268	1382	11,277
β -Bourbuneno	27	18,558	1394	2,261
β -Elemeno	28	18,673	1399	0,604
1H indene	29	18,963	1412	0,888
α -Gurjuneno	30	19,123	1420	0,604
Cariofileno	31	19,380	1431	3,499
Nerolidol	32	20,026	1460	0,986
No identificado	33	20,141	1465	0,515
No identificado	34	20,340	1474	1,353
γ -Cadileno	35	20,771	1494	6,100
Germacreno β	36	21,091	1508	0,808
Cis-Calamenene	37	21,630	1534	1,332
α -Gurjunene	38	21,939	1549	0,238
Platumbin	39	23,025	1600	0,209
No identificado	40	23,637	1631	0,871
No identificado	41	24,457	1672	0,808